

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR MUND-, KIEFER- UND GESICHTSCHIRURGIE
PROF. DR. DR. TORSTEN E. REICHERT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

EINE NEUE METHODE ZUR BEURTEILUNG DER
WEICHGEWEBSMORPHOLOGIE IN DER ÄSTHETISCHEN ZONE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin
der medizinischen Fakultät
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Alice Lucas

2015

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR MUND-, KIEFER- UND GESICHTSCHIRURGIE
PROF. DR. DR. TORSTEN E. REICHERT
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

EINE NEUE METHODE ZUR BEURTEILUNG DER
WEICHGEWEBSMORPHOLOGIE IN DER ÄSTHETISCHEN ZONE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin
der medizinischen Fakultät
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Alice Lucas

2015

Dekan:

Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Wolfgang Buchalla

Tag der mündlichen Prüfung:

18. April 2016

Für die, die mich unterstützt und auf diesem Weg begleitet haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Literaturübersicht.....	2
1.2	Problemstellung	5
2	Die Mundhöhle	7
2.1	Topographie.....	7
2.2	Histologie.....	8
2.2.1	Die Gingiva	11
3	Sonographie.....	14
4	Verfahren zur Bestimmung der Gingivadicke.....	17
4.1	non-invasive Verfahren	17
4.1.1	Visuelle Inspektion.....	17
4.1.2	Sichtbarkeit der Parodontalsonde durch die freie Gingiva.....	17
4.1.3	Sonographie.....	18
4.1.4	Röntgenaufnahme in Paralleltechnik.....	19
4.1.5	Analyse der Daten eines Weichgewebs-DVT	19
4.2	invasive Verfahren.....	21
4.2.1	transgingivales Sondieren.....	21
4.2.1.1	manuelle Messung.....	21
4.2.1.2	Verwendung einer Messuhr.....	22
4.2.1.3	Sondierung mit einer Transformator-Sonde	22
4.2.2	direkte Messung nach Lappenbildung.....	22
5	Patienten und Methode	23
5.1	Patienten	23
5.2	untersuchte Parameter und Methodik	24
5.2.1	Beschreibung des Ultraschallgerätes.....	24
5.2.2	Versuchsreihe zur Validierung der sonographischen Messmethode.....	26
5.2.2.1	Vorversuch 1	26
5.2.2.2	Vorversuch 2	28
5.2.3	Untersuchungsprotokoll	29
5.2.3.1	sonographische Untersuchung.....	30
5.2.3.2	parodontale Gesundheit	32
5.2.3.3	Zahnform und Ausformung des Gingivasaums.....	33

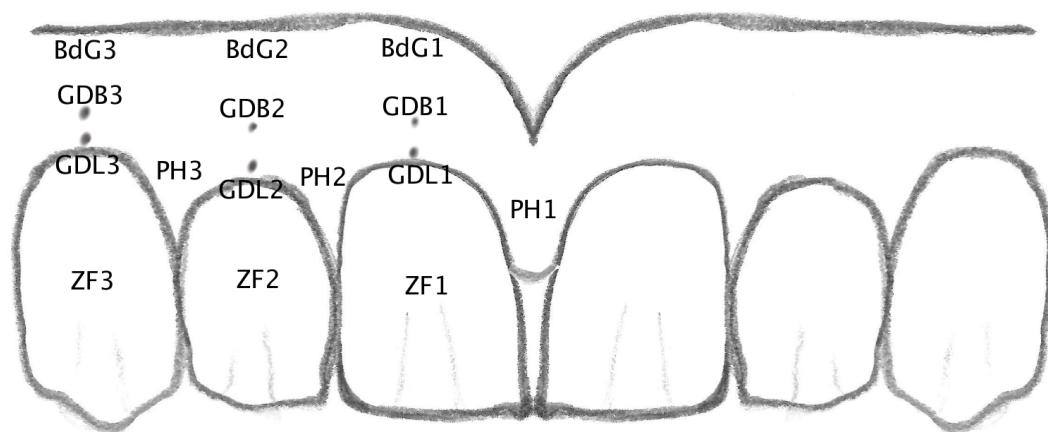
5.2.3.4	Breite der Gingiva	34
5.2.3.5	Gingivatransparenz.....	34
5.3	Statistische Auswertung.....	35
6	Ergebnisse.....	36
6.1	Vorversuche	36
6.2	Reliabilität der Ultraschallmessung am Patienten	37
6.3	Überprüfung des Patientenkollektivs.....	38
6.3.1	Einfluss des Blutungsindex auf die Gingivadicke.....	38
6.3.2	Einfluss der Mundhygiene auf die Gingivadicke	39
6.4	Geschlechts- und altersspezifische Unterschiede	39
6.4.1	Breite der Gingiva	40
6.4.2	Ausformung des Gingivasaums	41
6.4.3	Zahnform	43
6.4.3.1	Korrelationsanalyse der Zahnformen der Oberkieferfrontzähne.....	44
6.4.4	Gingivadicke	45
6.5	Zusammenhänge zwischen Gingivadicke und parodontaler Morphologie	49
6.5.1	Breite der Gingiva	49
6.5.2	Gingivale Architektur.....	51
6.5.3	Zahnform	52
6.6	Zusammenhang zwischen Sondentransluzenz und Gingivadicke	55
7	Diskussion	60
7.1	Diskussion der Methode	60
7.1.1	Patientenselektion.....	60
7.1.2	Methoden zur Beurteilung der Morphologie der Oberkieferfrontzahnregion.....	61
7.1.3	Methoden zur Beurteilung der Gingivadicke	61
7.2	Diskussion der Ergebnisse	67
7.2.1	Breite der Gingiva	67
7.2.2	Ausformung des Gingivasaums	68
7.2.3	Zahnform	69
7.2.4	Dicke der Gingiva	71
7.2.5	Korrelation der parodontalen Parameter	73
7.2.5.1	Diskussion der Korrelation zwischen Breite und Dicke der Gingiva.....	74
7.2.5.2	Diskussion der Korrelation zwischen der gingivalen Ausformung und der Gingivadicke	76

7.2.5.3	Diskussion der Korrelation zwischen der Zahnform und der Gingivadicke ..	77
7.2.5.4	Diskussion der Ergebnisse im Vergleich mit bisherigen Studien	78
8	Schlussfolgerung	80
9	Zusammenfassung	81
10	Literaturverzeichnis.....	83
11	Bildnachweis	91

Abkürzungsverzeichnis

GDB	Dicke der Gingiva <i>fixa</i>
GDL	Dicke der Gingiva <i>libera</i>
BdG	Breite der Gingiva
PH	Papillenhöhe
ZF	Zahnform
BOP	Blutung auf Sondieren (Bleeding on Probing)

Darstellung der Messpunkte



Schematische Darstellung der Lokalisation der Messpunkte für den I Quadranten (eigene Zeichnung)

1 Einleitung

Die Gingivamorphologie beschäftigt zahnmedizinische Wissenschaftler und Kliniker seit vielen Jahren, da diese sowohl aus parodontologischer als auch implantologischer Sicht ein klinisch relevantes Thema darstellt. Die eingehende Befundung der intraoralen Schleimhautverhältnisse einschließlich der Gingivadiecke, der Ausformung des Gingivasaums und der Breite der keratinisierten Gingiva ist aus funktioneller und ästhetischer Sicht einer der entscheidenden Schritte bei der Planung einer implantologisch-prothetischen Zahnversorgung. Je nach Qualität der Gingiva ändern sich die Vorgehensweise, der Aufwand und die Prognose der geplanten Behandlung. Somit dient ihre Kenntnis nicht nur der Wahl geeigneter Therapieschritte, sondern auch der Aufklärung des Patienten über das situationsbedingt zu erwartende Ergebnis. Vor allem im Bereich der Oberkieferfrontzähne wo neben den rein medizinischen Gesichtspunkten die Ästhetik ein entscheidendes Kriterium für die Zufriedenheit des Patienten mit dem Therapieergebnis darstellt ist eine möglichst exakte prätherapeutische Einschätzung und Aufklärung wichtig. Dadurch können im Voraus unrealistische Erwartungen ausgeräumt und mögliche Optionen aufgezeigt werden. Eine dünne Gingiva bedarf meist eines therapeutischen Mehraufwands, der erhöhte Zeit- und Kosteninvestition fordert.

Die Anwendbarkeit der verschiedenen Behandlungsmaßnahmen in der Parodontaltherapie wird durch die Gingivaqualität bestimmt [Sato 2008]. Bei Vorhandensein einer dünnen Gingiva ist mit einem stärkeren posttherapeutischen Attachmentverlust sowohl bei konservativem [Claffey et Shanley 1986] als auch bei operativem [Anderegg et al. 1995; Huang et al. 2005] Vorgehen zu rechnen. Die Möglichkeit der Gewinnung eines freien Schleimhauttransplantats vom Gaumen ist bei Patienten mit dünner Gingiva und somit dünner Gaumenschleimhaut [Müller et al. 2000a] ebenfalls eingeschränkt möglich. Zudem weist ein dünnes Schleimhauttransplantat eine deutlichere Schrumpfung auf als ein dickes [Mormann et al. 1981]. Eine der individuellen Weichgewebesituation angepasste Vorgehensweise ist somit Grundvoraussetzung für ein zufriedenstellendes postoperatives Langzeitergebnis.

Auch in der Implantologie ist das Weichgewebsmanagement von großer Bedeutung. Besonders die Versorgung von Einzelzahnücken in der Oberkieferfrontzahnregion durch eine implantatgetragene Einzelkrone stellt eine Herausforderung für jeden Behandler dar. Da die Motivation des Patienten für ein Implantat meist der ästhetische Makel ist, der durch eine

Frontzahn­lücke entsteht, ist die ästhetisch ansprechende Ausformung der Gingiva am Implantat­hals ein entscheidendes Therapieziel [Furhauser et al. 2005; Jones et Martin 2014; Vaidya et al. 2015]. Eine erfolgreiche Implantation zeichnet sich nicht nur durch eine komplette Osseointegration aus, sondern auch durch eine entzündungsfreie und im Sinne der Pink-Weiß Ästhetik ansprechende Adaption der Gingiva an die Implantat- und Abutmentoberfläche ohne gingivale Transparenz mit Sichtbarwerden des titanfarbenen Implantates. Um dies zu erzielen ist die Beurteilung der Gingivadicke in der Planungsphase essentiell. Sie entscheidet über den Zeitpunkt der Implantation, die Notwendigkeit primärer oder sekundärer augmentativer Verfahren sowie die Wahl des Implantatmaterials und Abutments [Hämmerle et al. 2004; Sailer et al. 2007].

Die aufgeführten Aspekte machen deutlich, dass es für den klinischen Alltag notwendig ist valide Beurteilungskriterien für die Qualität der Gingiva zu identifizieren. Denn ohne deren Kenntnis lässt sich keine evidenzbasierte und für den individuellen Patienten passende Therapieentscheidung treffen.

1.1 Literaturübersicht

Die Charakteristik der Gingiva, ihre Dicke und Ausformung ist, wie bereits erläutert, ein wichtiges Entscheidungskriterium in der zahnmedizinischen Therapie. Beobachtungen führen zu der Annahme, dass es im Allgemeinen zwei Arten parodontaler Morphologie gibt die als „thin-scalloped“ und als „thick-flat“ beschrieben werden können [Ochsenbein et Ross 1973; Weisgold 1977]. Der Begriff „Biotyp“ zur Beschreibung der gingivalen Morphologie wurde 1989 von Seibert et Lindhe eingeführt [Seibert et Lindhe 1989]. Den Beobachtungen zufolge zeigt ein „thin-scalloped“ Biotyp eine dünne Gingiva und einen ausgeprägt girlandenförmigen Gingivasaum. Der „flat-thick“ Biotyp weist eine dicke Gingiva mit flach verlaufendem Gingivasaum auf. Charakteristika der Zahnform wurden für diese morphologischen Grundtypen ebenfalls beschrieben [Weisgold 1977]. Die Analyse von Zusammenhängen zwischen gingivalen morphologischen Merkmalen wie der Ausformung des Gingivasaums, der Gingivadicke und ihrer Breite sowie der Zahnform stellt seitdem ein vieldiskutiertes Thema dar.

In etlichen wissenschaftlichen Publikationen sowie auch im „*ITI Treatment Guide*“ wird der Begriff „Biotyp“ verwendet um die Charakteristik der Gingiva zu beschreiben [Wittneben et

al. 2013]. Eine einheitliche Definition des Begriffs ist in der Literatur jedoch nicht zu finden. Beschäftigt man sich mit der Literatur auf dem Gebiet der Weichgewebeforschung, stellt man fest, dass der Terminus „Biotyp“ auf unterschiedliche Weise interpretiert wird. Dadurch kommt es zu Zitierfehlern und falschen Schlussfolgerungen. In manchen Publikationen wird der Begriff „Biotyp“ beispielsweise als Beschreibung der Gingivadicke und der gingivalen Ausformung verwendet [Kao et al. 2008], in anderen Publikationen wird mit dem Begriff ein Zusammenhang zwischen Gingivamorphologie und Zahnform beschrieben [Eghbali et al. 2009]. Der Begriff wird jedoch teilweise auch alleinig als Synonym für die Gingivadicke verwendet [Pontoriero et Carnevale 2001; Kois 2004; Cook et al. 2011; Fischer et al. 2013]. Diese uneinheitliche Begrifflichkeit verhindert einen effizienten wissenschaftlichen Fortschritt auf diesem Gebiet.

Um eine fundierte Schlussfolgerung über Zusammenhänge zwischen den parodontalen Parametern ziehen zu können, ist es notwendig die vorhandene Literatur zu prüfen.

In der Literatur sind zum jetzigen Zeitpunkt zwölf Studien bekannt die sich mit der Frage befassen, ob es einen Zusammenhang zwischen der Gingivadicke und der Zahnform gibt. Zehn der zwölf Studien untersuchen zudem die Breite der Gingiva, fünf die gingivale Ausformung.

Tab. 1 Studienübersicht

Studiengruppe	Jahr	Pat.- Kollektiv	Alter	Rasse	RZ GD	Parameter	Messmethode GD	Messpunkte GD
Olsson et al.	1993	108 k.A.	16-19	k.A.	13-23	GD, ZF, BdG, PH, ST, GW	Transgingivales Sondieren	Auf Höhe des Sulkusboden
Eger et al.	1996	42 m	20-25	Kaukasier	13-23	GD, ZF, BdG, ST, REC	Ultraschall	Auf Höhe des Sulkusboden
Müller et Eger	1997	42 m	20-25	Kaukasier	13-23	GD, ZF, BdG, ST, REC	Ultraschall	Auf Höhe des Sulkusboden
Müller et al.	2000 (a)	21 w 19 m	19-30	37 Kauk. 3 Asiaten	13-23	GD, ZF, BdG, ST, REC, BOP	Ultraschall	Apikal des Sulkusboden
Chou et al.	2008	54 w 58 m	19-29	Asiaten	13-23	GD, ZF, BdG, PH, GW	Ultraschall	Auf Höhe des Sulkusboden
De Rouck et al.	2009	50 w 50 m	19-56	Kaukasier	11, 21	GD, ZF, BdG, PH, ST	Transparenz der Gingiva	Freie Gingiva
Cook et al.	2011	60 k.A.	k.A.	k.A.	OK- Front	GD, ZF, BdG, PH, ST, REC, BOP, KD	Visuelle Inspektion	Gingiva des Alveolar- kamms in der OK-Front

Studiengruppe	Jahr	Pat.- Kollektiv	Alter	Rasse	RZ GD	Parameter	Messmethode GD	Messpunkte GD
Anand et al.	2012	25 w 25 m	16-34	k.A.	11, 21	GD, ZF, BdG, PH, ST	Transparenz der Gingiva	Freie Gingiva
Stellini et al.	2013	19 w 31 m	23-28	Kaukasier	11 oder 21	GD, ZF, BdG, PH, ST, BS, BDA	Transgingivales Sondieren	Auf Höhe des Sulkusboden
Fischer et al.	2013	46 w 34 m	21-36	Kaukasier	11, 21	GD, ZF, PH, BS	Transparenz der Gingiva	Freie Gingiva
Stein et al.	2013	36 w 24 m	18-61	Kaukasier	21	GD, ZF, BdG, PH, KD, SoTr	Röntgen	6 apiko-inzisale Messpunkte
Malhotra et al.	2014	50 k.A.	35 Ø	k.A.	11, 21	GD, ZF, PH, GW	Transparenz der Gingiva	Freie Gingiva

RZ GD, Referenzzähne für die Messung der Gingivadicke; k.A., keine Angabe; GD, Gingivadicke; ZF, Zahnform; BdG, Breite der Gingiva; PH, Papillenhöhe; ST, Sondierungstiefe; GW, gingivaler Winkel; REC, Rezessionen; KD, Knochendicke; BS, „bone sounding“ Tiefe; BDA, Breite des Approximalkontakts; BOP, Bleeding on Probing; SoTr, Sondentransluzenz

Die Ergebnisse der aufgeführten Studien sind disparat. Während manche Studiengruppen zu dem Schluss kommen, dass parodontale Biotypen existieren [Müller et al. 2000a; De Rouck et al. 2009; Anand et al. 2012; Malhotra et al. 2014], bezweifeln andere deren Existenz [Olsson et al. 1993; Fischer et al. 2013].

Fünf der in Tab. 2 aufgeführten Studiengruppen versuchten mithilfe einer Clusteranalyse Gruppen mit gemeinsamen Merkmalsausprägungen aus dem Patientenkollektiv herauszufiltern. Aus Gründen der Übersichtlichkeit, sind die Ergebnisse in der folgenden Tabelle aufgeführt. Cluster mit übereinstimmenden Merkmalen sind farblich gekennzeichnet.

Tab. 2 Ergebnisse der Clusteranalysen vorheriger Studien.

	Müller et Eger (1997)			Müller et al. (2000a)			Chou et al. (2008)			De Rouck et al. (2009)			Anand et al. (2012)		
	A	B	C	A1	A2	B	N	S	C	A1	A2	B	A	B	C
ZF	läng	quad	quad	läng	längl	quad	längl	gedrungen	quad	läng	läng	quad	läng	läng	quad
GD	dünn	dick	dünn	dünn	dünn	dick	dünn	moderat	dick	dünn	dick	dick	dünn	dick	dick
Bdg	schm	breit	schm	schm	breit	breit	schm	moderat	breit	schm	schm	breit	schm	schm	breit
PH	/	/	/	/	/	/	/	/	/	hoch	hoch	flach	hoch	hoch	flach

orange hinterlegt, entspricht „thin-scalloped“ Biotyp; grün hinterlegt, entspricht „thick-flat“ Biotyp; läng, länglich; quad, quadratisch; schm, schmal; ZF, Zahnform; GD, Gingivadicke; BdG, Breite der Gingiva; PH, Papillenhöhe

Betrachtet man Tab. 2 so sieht man, dass nicht in jeder Studie, in der eine Clusteranalyse durchgeführt wurde, die Papillenhöhe, also die gingivale Ausformung, untersucht wurde. Es

konnten jedoch in jedem Kollektiv Patienten identifiziert werden, die anhand ihrer Gingivadiecke und Zahnform einem der zwei beschriebenen Biotypen zuzuordnen sind. Die Tabelle zeigt auch, dass in jeder Studie jedoch auch Patienten gefunden wurden, die keinem der zwei Biotypen zuzuordnen sind. Die Ausprägung der Merkmale dieser übrigen Patienten stimmt nur in den Patientenkollektiven der Studien von De Rouck et al. (2009) und Anand et al. (2012) überein. Auch Olsson et al. (1993) fanden Patienten mit den typischen Merkmalen der zwei Biotypen in ihrem Patientenkollektiv. Die Gingivadiecke der beiden Patientengruppen unterschied sich jedoch nicht signifikant. Die Ergebnisse der Studie von Stellini et al. (2013) deuten darauf hin, dass sich die Dicke und die Ausformung der Gingiva von Patienten mit unterschiedlicher Zahnform unterscheiden. Den Ergebnissen der Studie ist zu entnehmen, dass Patienten mit quadratischen Zähnen signifikant dickere Gingiva und flachere Papillen vorweisen als Patienten mit länglichen Zähnen: Ein Zusammenhang der auf die Existenz von Biotypen hindeutet. Dem entgegen stehen jedoch Studien, in denen keine Zusammenhänge zwischen der Zahnform, der gingivalen Ausformung und der Dicke der Gingiva nachgewiesen werden konnten [Cook et al. 2011; Fischer et al. 2013]. Weitere Studien zeigen unklare Ergebnisse, wie beispielsweise die Studie von Stein et al. (2013), in der nur eine geringe Korrelation zwischen der Zahnform, der Breite der Gingiva und der Gingivadiecke nachgewiesen wurde. Eine weitere Analyse der Studiengruppe jedoch zeigt, dass die Zahnform und die Breite der Gingiva einen Rückschluss auf die Gingivadiecke zulassen. Die Ergebnisse von Malhotra et al. (2014) lassen leider, aufgrund mangelnder Angabe der Signifikanz der gefundenen Mittelwertdifferenzen, für die Zahnform und die Ausformung der Gingiva von Patienten mit dünner und dicker Gingiva keine Schlussfolgerung zu.

Anhand der bisherigen Studienergebnisse lässt sich somit nicht schlussfolgern, ob ein Zusammenhang der parodontalen Parameter Zahnform, Breite der Gingiva und gingivaler Ausformung mit der Dicke der Gingiva besteht.

1.2 Problemstellung

Die Inkonsistenz der Ergebnisse der aufgeführten Studien kann begründet sein, durch die teils deutlichen Unterschiede im Studiendesign und den untersuchten Patientenkollektiven. Sie kann jedoch auch ein Hinweis darauf sein, dass eine Einteilung von Individuen in Biotypen anhand parodontaler Parameter nicht möglich ist, da die interindividuelle Varianz der

Parameter zu groß ist. Es ist deshalb notwendig, normierte Untersuchungskriterien zu etablieren, um die Vergleichbarkeit künftiger Studien zu gewährleisten.

Wie bereits erwähnt, wird in vielen Publikationen und auch Leitlinien die von Lindhe und Seibert beschriebene Klassifikation der Biotypen in ursprünglicher oder modifizierter Form als geltend angesehen [Jung et al. 2008; Nozawa et al. 2009; Arora et al. 2013; Cuny-Houchmand et al. 2013]. Welche gravierenden Auswirkungen ein möglicher Irrtum bezüglich der Existenz von Biotypen hätte, erklärt sich, wenn man die Rolle der Gingivadicke betrachtet. Die Gingivadicke ist ein entscheidendes Kriterium für die parodontologische und implantologische Therapieplanung. Ihre Diagnostik stellt einen obligaten Therapieschritt dar. Sollte ein Zusammenhang zwischen der Dicke der Gingiva und deren Ausformung oder der Zahnform bestehen, wäre es möglich, von der simpel zu diagnostizierenden Zahnform oder der gingivalen Ausformung auf die Gingivadicke zu schließen. Sollte eine solche Korrelation nicht bestehen und der Behandler beurteilt dennoch die Dicke der Gingiva nach der Zahnform oder nach ihrer Ausformung, kommt es unter Umständen zu einer fehlerhaften Planung mit resultierenden unbefriedigenden postoperativen (Langzeit-) Ergebnissen. Es ist deshalb obligat zu überprüfen, ob derartige Zusammenhänge bestehen, denn eine valide Beurteilung der Dicke der Gingiva ist essentiell sowohl für wissenschaftliche Untersuchungen der Mundschleimhaut als auch im klinischen Alltag bei der Patientenversorgung.

Studienziel:

Es wird eine präzise, non-invasive und zeitsparende Methode zur multilokulären Messung der Gingivadicke vorgestellt. Mithilfe dieser Untersuchungsmethode sollen, im Hinblick auf die Frage nach der Existenz von Biotypen, Zusammenhänge zwischen der parodontalen Morphologie, der Zahnform und der Dicke der Gingiva überprüft werden. Des Weiteren sollen geschlechts- und altersspezifische Unterschiede der parodontale Morphologie und der Gingivadicke untersucht werden.

2 Die Mundhöhle

Mit der Nahrungsaufnahme und der Lautbildung, fallen der Mundhöhle zwei lebenswichtige Aufgaben zu. Des Weiteren steht der menschliche Körper über sie unmittelbar mit der Umwelt in Kontakt, weshalb der Mundhöhle auch immunologische Aufgaben zukommen. Die Vielfalt der Aufgaben der Mundhöhle spiegelt sich in einigen morphologischen und histologischen Merkmalen wieder. Diese sollen im Folgenden näher erläutert werden.

2.1 Topographie

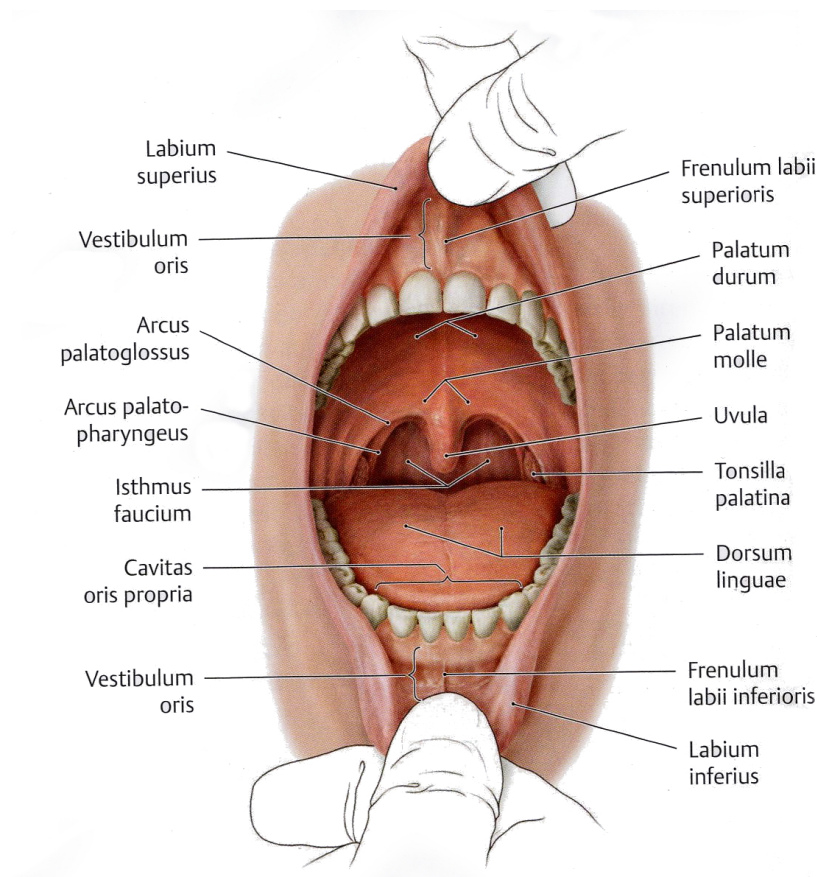


Abb. 1 Topographie der Mundhöhle.

Die Mundhöhle lässt sich topographisch in zwei Bereiche unterteilen. Den Mundvorhof (*vestibulum*) und die Mundhöhle (*cavum oris proprium*). Die Mundhöhle wird kranial durch

den Gaumen, kaudal durch den Mundboden und ventral und zu den Seiten durch die Kieferkämme begrenzt. Dorsal geht die Mundhöhle, im Bereich der Gaumenbögen, in den Rachen über. Der Gaumen und die Kieferkämme stellen eine größtenteils knöcherne Begrenzung dar, der Mundboden eine muskuläre. Unterhalb der Mundbodenschleimhaut befinden sich, neben der Mundbodenmuskulatur, Teilen der äußeren Zungenmuskulatur und der suprahyoidalen Muskulatur, auch die paarige sublinguale und die paarige submandibuläre Speicheldrüse. Ihre Ausführungsgänge münden in den Mundboden. Die Mundhöhle ist im geschlossenen Zustand fast vollständig von der Zunge ausgefüllt. Die Zunge wird von vier Muskeln mit unterschiedlichem Faserverlauf gebildet und ist über ein Schleimhautbändchen an der beweglichen Schleimhaut des Mundbodens befestigt. Der Gaumen teilt sich in einen ventralen knöchernen und einen dorsalen muskulären Abschnitt. Am Übergang zum Rachen, zwischen den zwei Gaumenbögen, befinden sich, als Teil des Waldeyerschen Rachenringes, die paarigen Gaumenmandeln, ein lymphatisches Organ [Schünke et al. 2009].

Als Mundvorhof bezeichnet man den Bereich zwischen den Kieferkämmen und den Wangen und Lippen. Der Bereich zwischen der knöchernen Begrenzung der Kieferkämme und der muskulären Begrenzung durch die Wangen- und Lippenmuskulatur wird als Umschlagfalte bezeichnet. Dort befinden sich pro Kiefer je drei Schleimhautbändchen, je zwischen den mittleren Incisivi und im Bereich der Prämolaren. Der Ausführungsgang der Ohrspeicheldrüse mündet ebenfalls in den Mundvorhof im Bereich der ersten Molaren.

Die Zähne bilden zusammen mit den Kieferkämmen, in denen sie syndesmotisch verankert sind, die Begrenzung zwischen dem Mundvorhof und der Mundhöhle [Schünke et al. 2009].

2.2 Histologie

Der Verdauungstrakt besteht aus einer Aneinanderreihung von Hohlorganen, die sich grundsätzlich im Aufbau ähneln und aus folgenden vier Schichten bestehen:

1. *Mukosa*
2. *Submukosa*
3. *Muskularis*
4. *Serosa*

Die Mukosa, das Deckgewebe der Hohlorgane, lässt sich weiter unterteilen in:

1. *Epithel*
2. *Lamina propria*
3. *Muscularis mucosae*

Die Mundhöhle nimmt im Verdauungssystem eine Sonderstellung ein. Man findet in der Mundhöhle weder Muskularis noch Serosa, an manchen Stellen fehlt die Submukosa. Die Mukosa weist keine Muskelschicht auf. Das Epithel ist ein Plattenepithel. Dieses findet sich, außer in der Mundhöhle, im Ösophagus und am letzten Abschnitt des Analkanals. Der restliche Gastrointestinaltrakt ist mit einschichtigem Zylinderepithel ausgekleidet [Lüllmann-Rauch 2009].

Die unterschiedlichen Aufgaben der Mundhöhle spiegeln sich im regional verschiedenen Aufbau der Mukosa wider. Es finden sich drei Schleimhauttypen:

1. *die mastikatorische Mukosa*
2. *die auskleidende Mukosa*
3. *die spezialisierte Mukosa*

Die mastikatorische Mukosa ist die derbste und belastbarste Schleimhaut der Mundhöhle. Sie bedeckt die Bereiche, die bei der Nahrungszerkleinerung am stärksten belastet werden, den harten Gaumen und die Alveolarfortsätze. Im Bereich des zahntragenden Kieferkamms wird die mastikatorische Mukosa als Gingiva bezeichnet. Das Epithel ist ortho- oder parakeratinisiert und ist je nach Grad der Keratinisierung drei- bis vierschichtig. Im *stratum basale* findet die Zellteilung der Stammzellen statt. Die Zellen durchlaufen einen Reifungsprozess. Im letzten Reifungsschritt dehydrieren die Keratinozyten vollständig und die Zellorganellen und Kerne verschwinden. Beim orthokeratinisierten Epithel läuft dieser Prozess vollständig ab, sodass die oberste Schicht der Mukosa aus toten Hornschuppen (Korneozyten) besteht, die mit der Zeit abschilfern. Im parakeratinisierten Epithel verschwinden die Zellorganellen und Kerne nicht vollständig, im histologischen Bild ist dann ein dreischichtiger Epithelaufbau erkennbar [Radlanski 2011]. Der Keratinisierungsgrad der Mukosa ist individuell verschieden. Neben den Keratinozyten befinden sich im Epithel der Mundhöhle Melanozyten, Merkel-Zellen, Langerhanszellen und Lymphozyten. In der

Bindegewebsschicht unterhalb des Epithels, der *lamina propria*, findet man Tastkörperchen und freie Nervenendigungen, die teilweise bis in das Epithel ziehen. Die *lamina propria* der mastikatorischen Mukosa ist über eine Vielzahl von Bindegewebszapfen fest im Epithel verankert. Der Nährstofftransport erfolgt über kapilläre Blutgefäße in diesen Zapfen [Radlanski 2011]. Die *lamina propria* ist reich an Abwehrzellen wie Makrophagen und Leukozyten [Berkovitz et al. 2002].

In einer zentralen Zone am harten Gaumen, am *torus palatinus*, und peripher nahe des Kieferkamms sowie im Bereich der Gingiva an den Alveolarfortsätzen inserieren die Fasern der *lamina propria* direkt in das Periost. Nur im Bereich zwischen *torus palatinus* und Alveolarkamm des Oberkiefers ist eine Submukosa unterhalb der mastikatorischen Schleimhaut zu finden. Die an diesen Stellen sehr dünne Submukosa enthält Fettzellen und Speicheldrüsen [Radlanski 2011].

Die auskleidende Mukosa bedeckt die beweglichen Bereiche der Mundhöhle, Teile der Kieferkämme, die Wangen, die orale Seite der Lippen, den weichen Gaumen, die Zungenunterseite und den Mundboden. Sie ist größtenteils unvollständig parakeratinisiert. Im histologischen Bild sieht man einen dreischichtigen Aufbau. Neben den Korneozyten enthält das Epithel nicht dehydratisierte, leicht abgeflachte Zellen [Garant 2003]. Die auskleidende Mukosa ist dadurch dehnbar und verformbar. Die bindegewebige Verzahnung des Epithels mit der *lamina propria* ist wenig ausgeprägt. Die Submukosa, die überall vorhanden ist, gewährleistet die Verschieblichkeit der Mukosa. Elastische Fasern strahlen an Wange und Lippen in die Sehnen der mimischen Muskulatur ein, sodass die Mukosa alle Muskelbewegungen mitmacht.

Die Submukosa enthält neben Fettzellen Ansammlungen von Drüsengewebe, sogenannte accessorische Speicheldrüsen. In ihr verlaufen Blutgefäße und Nervenfasern [Radlanski 2011].

Der Zungenrücken ist von einer spezialisierten Mukosa bedeckt. Sie ermöglicht Tast-, Temperatur- und Geschmackswahrnehmungen. Das Epithel ist keratinisiert. Die *lamina propria* enthält zahlreiche Gefäße und Nervenendigungen. Auf dem Zungenrücken befinden sich vier verschiedenen Arten von Papillen, denen spezifische Aufgaben zugeschrieben werden. Die *papillae filiformes*, die auf dem gesamten Zungenrücken verteilt sind, enthalten als einzige keine Geschmacksknospen. Die bindegewebigen Papillen sind von einer dicken Hornschicht bedeckt, die spitz zu Hornnadeln zuläuft. Durch Auslenkung der Hornnadeln

werden die Mechanorezeptoren in den Papillen angeregt. Dies ermöglicht das sehr feine Tastempfinden der Zunge [Radlanski 2011].

Die *papillae fungiformes* sind runde bis ovale Bindegewebsknospen, die von einem kleinen Graben umgeben sind. Das Epithel ist nur an der Oberfläche keratinisiert [Kullaa-Mikkonen et Sorvari 1985]. An den Papillen finden sich, neben Mechano- und Thermorezeptoren, auch verschiedene Geschmacksknospen [Arvidson 1979; Beckers et Eisenacher 1975]. Es gibt jedoch auch *papillae fungiformes* ohne Geschmacksknospen [Arvidson 1979]. Sie sind auf dem gesamten Zungenrücken verteilt, jedoch weniger zahlreich als die *papillae filiformes*.

Die *papillae foliatae* bedecken den hinteren Zungenrand. Es handelt sich um kleine Bindegewebswälle. Sie sind vollständig von keratinisiertem Epithel bedeckt. In den Gräben zwischen den Wällen befinden sich Geschmacksknospen und die Ausführungsgänge seröser Speicheldrüsen. Diese finden sich ebenfalls in den Einsenkungen um die größten Papillen des Zungenrückens, die *papillae vallatae*. Die knospenartigen Papillen, die von einem tiefen Graben umgeben sind bilden einen Wall am dorsalen Zungenrücken [Lüllmann-Rauch 2009; Radlanski 2011].

2.2.1 Die Gingiva

Da die Gingiva im Fokus dieser Untersuchung steht, sollen ihre Besonderheiten näher erläutert werden. Die Gingiva weist im Allgemeinen die bereits beschriebenen Merkmale der mastikatorischen Mukosa auf. Sie ist blassrosa und meist orthokeratinisiert. Sie zeigt jedoch einige Charakteristika, die ihre spezielle Aufgabe in der Mundhöhle widerspiegeln. Zusammen mit dem Alveolarknochen, dem Desmodont und dem Wurzelzement bildet die Gingiva den Zahnhalteapparat. Ein stark ausgeprägtes kollagenes Fasernetzwerk stabilisiert die Zähne in der Zahnreihe (siehe Abb. 2).

Klinisch kann man die Gingiva einteilen in die *Gingiva fixa* und die *Gingiva libera*, die Grenze zwischen den beiden Abschnitten ist in manchen Fällen durch eine seichte Furche erkennbar [Radlanski 2011].

Durch den Faserzug des kollagenen Netzwerks, durch das die Gingiva unverschieblich mit der knöchernen Unterlage verbunden ist, erscheint die Oberfläche der *Gingiva fixa* gestipelt. Teile des in Abb. 2 dargestellten Fasernetzwerks verbinden den supracrestal gelegenen Anteil der Zahnwurzel mit der Gingiva und mit den Zahnwurzeln der Nachbarzähne. Dadurch liegt die gesunde Gingiva der Zahnwurzel an und die Zähne werden gegeneinander stabilisiert.

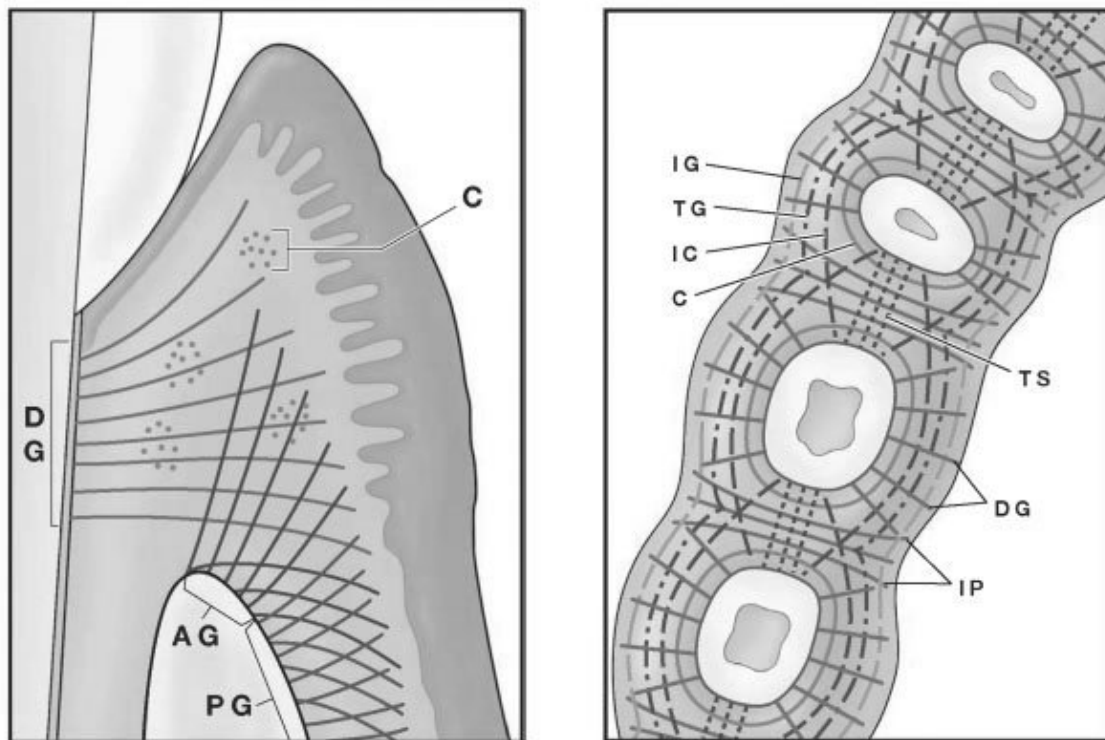


Abb. 2 Schematische Darstellung des Faserapparats der Gingiva.

DG, dentogingivale Fasern; AG, alveologingivale Fasern; PG, periostogingivale Fasern; C, zirkuläre Fasern; IG, intergingivale Fasern; TG, transgingivale Fasern; IC, interzirkuläre Fasern; TS, transseptale Fasern; DG, dentogingivale Fasern; IP, interpapilläre Fasern

Der koronale Anteil der Gingiva, der nicht im Zahn oder Knochen verankert ist, wird als *Gingiva libera* bezeichnet. Sie umgibt den Zahn wie ein Kragen und haftet apikal über das sogenannte Saumepithel der Zahnoberfläche an.

Zwischen Zahn und Gingiva liegt der Gingivasulkus. Die dem Zahn zugewandte Seite der Gingiva wird als orales Sulkusepithel bezeichnet und trägt ein para- oder nicht keratinisiertes Epithel, am Boden des Sulkus geht dies in das Saumepithel über. Das Saumepithel bildet sich während des Zahndurchbruchs aus dem Schmelzorgan. Es befindet sich zwischen Zahnschmelz und *lamina propria*. Am Zahnschmelz ist es über hemidesmosomale Verbindungen mit einer dem Zahnschmelz direkt anhaftenden Basallamina verbunden. Eine externe Basallamina verbindet es mit der *lamina propria*, dort finden sich keine bindegewebigen Einstülpungen. Das Saumepithel ist permeabel, sodass das Serumexudat und freie Zellen der Abwehr, die dem Gefäßplexus unterhalb des Saumepithels entstammen, hindurch diffundieren können. So werden Krankheitserreger in Richtung Sulkus gespült. Das

Saumepithel enthält zudem phagozytosefähige Zellen. Es übernimmt somit eine wichtige Rolle in der Immunabwehr [Hellwig et al. 2009].

Die Gingiva grenzt oral an die Gaumenschleimhaut und den Mundboden und vestibulär an die Alveolarmukosa. Die Breite der Gingiva ist stark variabel. Die Alveolarmukosa, sowie die Mukosa des Mundbodens haben auskleidenden Charakter und sind somit größtenteils unvollständig parakeratinisiert. Es ist deshalb möglich die sogenannte mukogingivale Grenze durch das Anfärben mit Schiller-Iod-Lösung sichtbar zu machen [Fasske et Morgenroth 1958]. Das in der äußersten Epithelschicht vorhandene Glykogen der Alveolarschleimhaut färbt sich dabei dunkelblau. In der Gingiva findet sich kein anfärbbares Glykogen. Durch Verschieben der Alveolarmukosa ist die Grenze ebenfalls detektierbar. Die Alveolarmukosa ist häufig dunkelrot mit sichtbarer Gefäßzeichnung [Radlanski 2011].

3 Sonographie

Die Sonographie ist ein Verfahren, welches die Ausbreitung und Reflexion von Schallwellen im Gewebe nutzt, um Bilder des Körperinneren zu erstellen. Die Erzeugung der Schallwellen erfolgt mithilfe des reziproken piezoelektrischen Effekts. Ein piezoelektrischer Kristall wird durch das Anlegen einer Wechselspannung zum Schwingen angeregt und erzeugt dabei Schallwellen. Diese werden ins Gewebe ausgesandt und dort teilweise reflektiert. Die reflektierten Schallwellen versetzen wiederum den Kristall in Schwingungen, wodurch dieser abwechselnd polarisiert wird und eine Wechselspannung erzeugt. Die erzeugte Wechselspannung wird dann je nach Darstellungsmodus des Röntgengeräts ausgewertet und als Diagramm (A-Mode) oder als Bild in Grauwerten (B-Mode) wiedergegeben (siehe Abb. 3 und Abb. 4) [Bosselmann 2012].

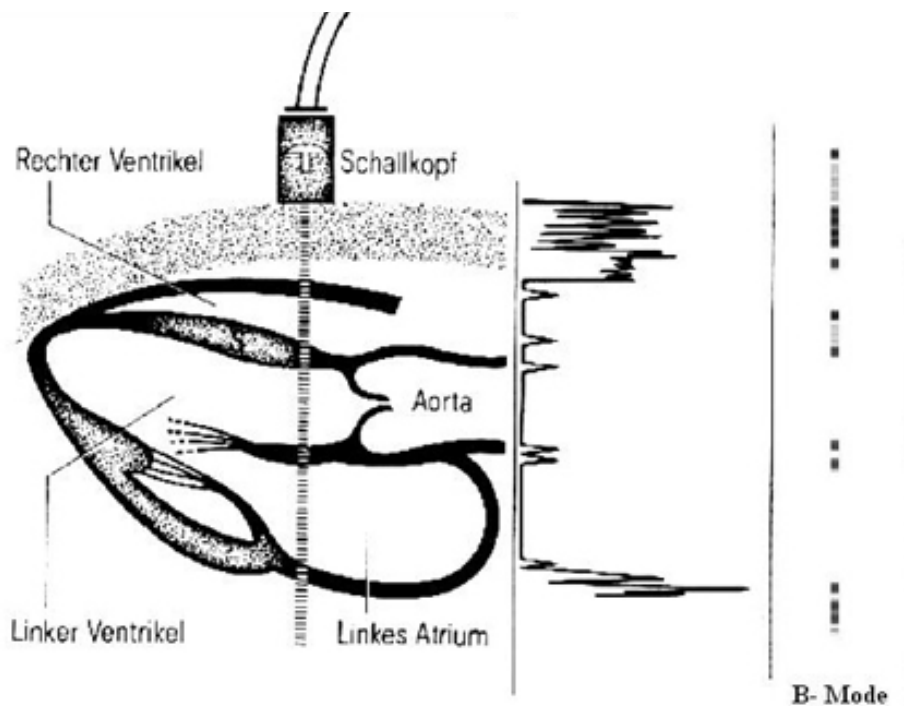


Abb.3 Sonographische Abtastung und Darstellung im A- und B-Modus.

Neuere Techniken lassen eine 3D-Darstellung zu [Ong 2015]. Da diese Darstellungsweise aber nicht zur Gingivadickenmessung eingesetzt wird, soll sie an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden. Ein Ultraschallgerät besteht aus einem Hochfrequenzgenerator, einem

Taktgeber, der Verarbeitungselektronik, einem Bildschirm und einer Sonde. Die Ultraschallsonde dient der Übertragung der Schallwellen auf den Körper. In den modernen Sonden sind viele piezoelektrische Elemente nebeneinander angeordnet, sie können in Feldern, sogenannten Arrays, angesteuert werden. Sie sind mit einem Kopplungsmedium zum Impedanzausgleich zwischen Kristall und Haut und mit einem Dämpfungsmedium verbunden, welches die Erzeugung kurzer, schnell aufeinanderfolgender Signale ermöglicht [Bosselmann 2012].

Die Ausbreitung der Ultraschallwellen im Gewebe unterliegt den Gesetzen der Wellenoptik. Absorption, Streuung und Brechung, im inhomogenen menschlichen Gewebe, führen zu einer gewebespezifischen Attenuierung der Ultraschallwellen [Lieback-Zimmermann 1993]. Für die sonographische Längenmessung und die Darstellung von Organen macht man sich die Impedanz zunutze. Sie ist definiert als das Produkt der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in einem Medium und der Dichte des Mediums und beschreibt den Widerstand, den ein Gewebe der Wellenausbreitung entgegenbringt. An der Grenzfläche zweier Medien unterschiedlicher Impedanz kommt es zu Transmission und Reflexion. Die Intensität der reflektierten Wellen, die mit dem Wert der Impedanzdifferenz korreliert, wird vom piezoelektrischen Element detektiert und durch einen Amplitudenausschlag (A-Mode) oder durch einen Grauwert (B-Mode) am Ultraschallmonitor dargestellt. Ein großer Impedanzsprung, der beispielsweise zwischen Weichgewebe und Knochen besteht, wird somit als starker Amplitudenausschlag oder als sehr heller Grauwert dargestellt [Hetzel et al. 2000].

Die Laufzeit der Welle wird bei der A-Mode Darstellung durch die x-Achse symbolisiert. Ist die Geschwindigkeit der Schallwelle im durchlaufenen Medium bekannt, lässt sich die Entfernung der Grenzfläche berechnen. Im B-Mode wird die Entfernung der Grenzfläche durch die Entfernung des zugehörigen Graupunkts vom oberen Bildrand dargestellt [Norer et al. 2007]. Je höher die Auflösung des Bildes ist, umso genauer lassen sich Strecken im Sonogramm messen. Beim zweidimensionalen B-Mode Verfahren unterscheidet man das axiale von dem lateralen Auflösungsvermögen. Die Tiefenauflösung wird über die Frequenz gesteuert. Damit der Sensor zwei Grenzflächen diskriminieren kann, darf es nicht zur Überlagerung der Schallwellen beim Erreichen der einzelnen Grenzflächen kommen. Durch die Erhöhung der Frequenz der Ultraschallwellen, wird die Wellenlänge verkürzt und die axiale Auflösung erhöht. Mit steigender Frequenz nimmt jedoch die Absorption der Ultraschallwellen zu und die Eindringtiefe verringert sich [Stein et Martin 2015]. Das laterale Auflösungsvermögen wird bestimmt durch die Anzahl an Schallfeldern. Die Diskriminierung

zweier nebeneinander gelegener Punkte ist nur dann möglich, wenn diese von zwei unterschiedlichen Schallfeldern erfasst werden [Norer et al. 2007]. Durch Bündelung des Schallfeldes über mechanische oder elektronische Mechanismen kann das Schallfeld gezielt gesteuert werden. Mit der elektronischen Fokussierung kann eine wählbare Eindringebene scharf gestellt und das laterale Auflösungsvermögen in dieser Ebene erhöht werden [Bosselmann 2012].

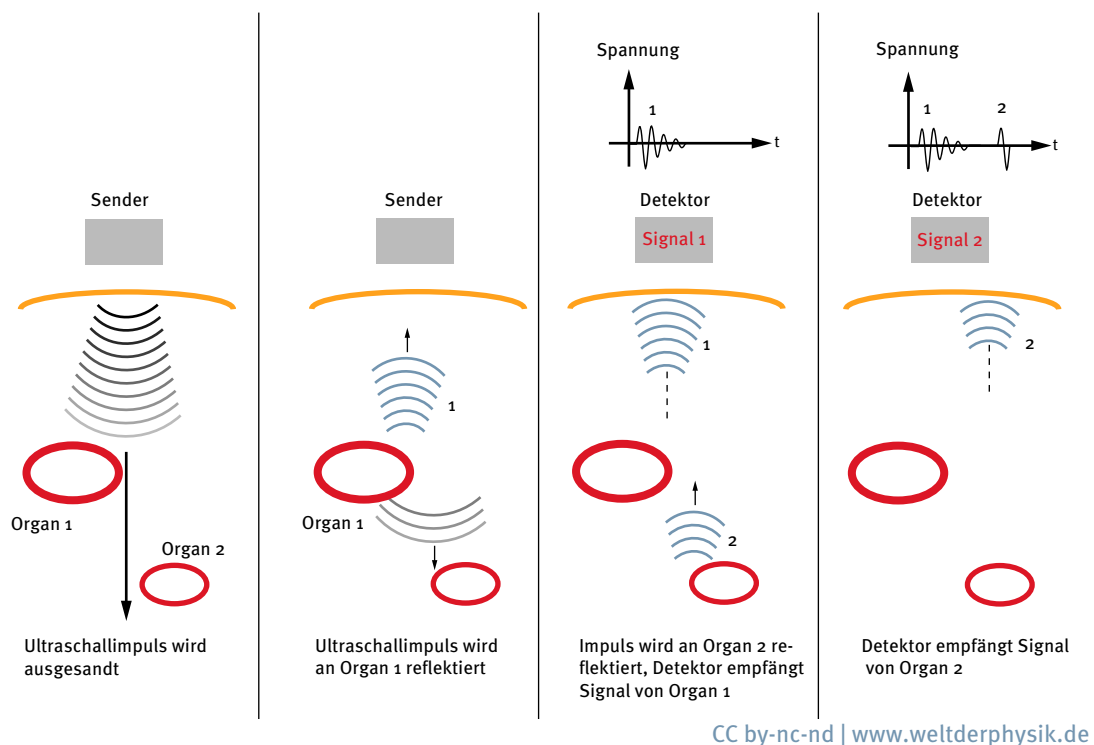


Abb. 4 Schematische Darstellung der Entstehung eines Sonogramms

Zum Ausgleich der frequenzabhängigen Attenuierung der Ultraschallwellen im Gewebe, findet während des Ultraschallscans ein sogenannter Tiefenausgleich statt. Reflektierte Signale werden dabei lauffzeitabhängig verstärkt.

Zur Kopplung der Ultraschallsonde mit der Körperoberfläche, wird ein stark wasserhaltiges Gel verwendet, da ansonsten der große Schwellenwiderstand der Luft zu einer Totalreflexion der Ultraschallwellen führen würde [Norer et al. 2007; Bosselmann 2012].

4 Verfahren zur Bestimmung der Gingivadicke

Während die Zahnform, die Breite der Gingiva und ihre Ausformung ohne großen technischen Aufwand zu diagnostizieren sind, ist man sich in der Literatur über den notwendigen Aufwand für die verlässliche Beurteilung der Gingivadicke nicht einig.

Im Folgenden sollen die in der Literatur bisher beschriebenen non-invasiven und invasiven Messmethoden zur Bestimmung der Gingivadicke vorgestellt werden.

4.1 non-invasive Verfahren

4.1.1 Visuelle Inspektion

Die simpelste Methode zur Bestimmung der Gingivadicke ist die rein visuelle Inspektion. Sie erfordert kein Instrumentarium und eignet sich für die Beurteilung der gesamten Mundhöhlenschleimhaut.

4.1.2 Sichtbarkeit der Parodontalsonde durch die freie Gingiva

Bei diesem Verfahren wird eine Parodontalsonde in den Sulkus eingeführt (siehe Abb. 5). Es wird beurteilt, ob die Gingiva eine Transparenz aufweist. Das Bewertungskriterium ist somit die Sichtbarkeit der Sonde durch die Gingiva. Es wird geschlussfolgert, dass bei Sichtbarkeit eine dünne Gingiva vorliegt und umgekehrt bei nicht sichtbarer Sonde eine dicke Gingiva.



Abb. 5 Sondentransluzenz.

4.1.3 Sonographie

Die ersten Ultraschallgeräte, die zur Messung der Gingivadicke verwendet wurden, waren Geräte mit A-Mode Darstellung. Bei der Messung der Dicke der Gingiva über das A-Mode System wird die Distanz zwischen den Amplitudenausschlägen bestimmt, die durch die Impedanzsprünge beim Übergang der Wellen in die Gingiva und beim Erreichen des Knochens entstehen. Bei den ersten selbstgebauteen Geräten wurde die Distanz zwischen den Amplitudenausschlägen mit manuellen Messgeräten gemessen und mithilfe der Kenntnis der Geschwindigkeit von Ultraschallwellen in der Haut umgerechnet [Muraoka et al. 1982]. Einen solchen Prototyp stellten 1971 Daly et Wheeler vor. Mit einer Frequenz von 10 MHz, ermöglichte das Gerät eine maximale Eindringtiefe von 3,75 mm bei einer Auflösung von 0,02 mm [Daly et Wheeler 1971].

Das erste kommerzielle Ultraschallgerät, speziell für die Messung der Mukosadicke, ist das Krupp SDM® (Krupp, Essen, Deutschland). Es arbeitet mit einer Frequenz von 5 MHz und hat eine Auflösung von 0,1 mm bei 8 mm maximaler Eindringtiefe. Die Umrechnung der Laufzeit des Echos in die Messstrecke geschieht automatisch, sodass der Wert der Mukosadicke direkt abgelesen werden kann. Die Sonde ist mit einem Durchmesser von 3 mm grazil gestaltet und ermöglicht eine Messung der gesamten mastikatorischen Mukosa. Voraussetzung ist, dass die Sonde rechtwinklig zur Knochenoberfläche angelegt werden kann [Eger et al. 1996]. Das Gerät wurde in diversen Studien angewendet [Müller et al. 2000b; Cha et al. 2008; Kim et al. 2009].

Der neueste Prototyp eines Mukosadickenmessgeräts (A-Mode) arbeitet mit einer Frequenz von 50 MHz und einer sphärisch fokussierten Sonde. Aufgrund der grazilen Gestaltung, ist es für die gesamte Mundhöhle geeignet [Slak et al. 2014].

Auch die B-Mode Darstellungsweise kann zur Messung der Mukosadicke eingesetzt werden. Das erste dafür entwickelte Gerät wurde in den 1980er Jahren in Japan entwickelt [Fukukita et al. 1985; Uchida et al. 1989].

Aufgrund der Fortschritte in der Ultraschalltechnik ist es heutzutage möglich qualitativ hochwertige 2-dimensionale Sonogramme zu erstellen und Distanzmessungen am Computerbildschirm durchzuführen. Der limitierende Faktor für die Anwendbarkeit in der Mundhöhle ist die Positionierbarkeit der Sonde, je nach Größe des Scanfeldes und Sondenkopfes [Tsiolis et al. 2003; Zimbran et al. 2013].

4.1.4 Röntgenaufnahme in Paralleltechnik

Das 2004 von Alpiste-Illueca vorgestellte Verfahren verwendet die Röntgentechnik zur Messung der Gingivadicke. Für die Röntgenaufnahme wird eine Modifikation der Paralleltechnik verwendet. Die Projektionsgesetze dieser Technik wurde von Price (1904) und McCormack (1920) beschrieben. Der Zentralstrahl wird dabei senkrecht auf Zahn und Bildebene ausgerichtet und die Bildebene parallel zur Zahnebene. Durch den großen Fokus-Objekt Abstand, den kurzen Objekt-Bild Abstand und die parallele Ausrichtung der Bildebene zur Zahnebene, werden Verzerrung, Vergrößerung und Unschärfe des Bildes minimiert [Pasler 2008]. Zur Messung der Gingivadicke wird zunächst eine selbstklebende Bleifolie, mit definiertem Maß, auf der Gingiva des zu untersuchenden Zahnes aufgebracht. Diese markiert die Gingivaoberfläche im Röntgenbild. Anschließend wird mit der beschriebenen Röntgentechnik eine Profilaufnahme des Zahnes erstellt. Das Röntgenbild wird anschließend mit spezieller Computersoftware ausgewertet (siehe Abb. 6), wobei die Dicke der Gingiva die Distanz zwischen der Bleifolie und der Knochenoberfläche dargestellt [Alpiste-Illueca 2004]. Die Messmethode ermöglicht Messungen der Frontzahngingiva. Eine Aufnahme dient dabei der Auswertung eines einzelnen Zahnes, wobei die Gingivadicke an unterschiedlichen apiko-inzisalen Punkten gemessen werden kann.

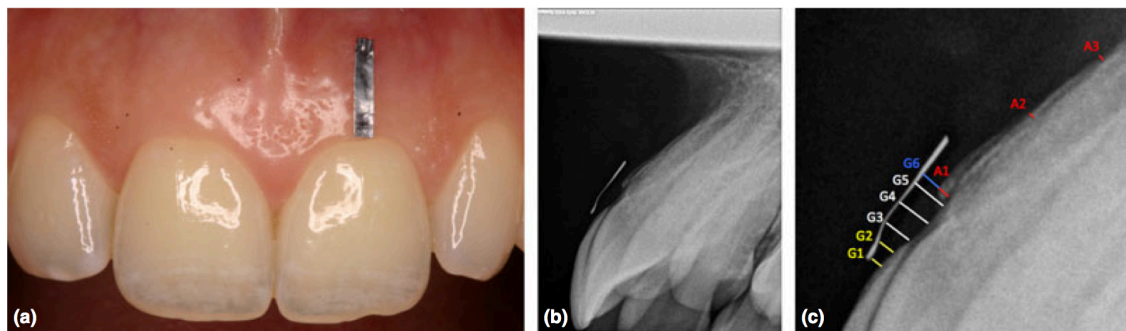


Abb. 6 Darstellung der radiologischen Messmethode; (a) Klinische Ansicht, (b) Radiologische Ansicht, (c) Darstellung der radiologischen Messpunkte zur Messung der Gingivadicke (G) und der Knochendicke (A).

4.1.5 Analyse der Daten eines Weichgewebs-DVT

Die digitale Volumentomographie ist ein dreidimensionales Bildgebungsverfahren, welches mit Röntgenstrahlen arbeitet. Der Patient ist bei dieser Aufnahmetechnik zentral gelagert,

während das Aufnahmegerät ihn einmalig um 360° oder 180°, je nach Art des verwendeten Geräts, umfährt. Der Strahlengang ist kegelförmig. Die so gewonnenen Einzelaufnahmen werden anschließend von der zugehörigen Computersoftware zu einem dreidimensionalen Volumensatz verarbeitet. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber der Computertomographie ist die geringere Strahlenbelastung des Patienten [Ludlow et al. 2007]. Eine quantitative Auswertungen der Gewebsdichte anhand der Hounsfield-Skala ist bei einer DVT-Aufnahme nicht möglich [Hua et al. 2009].

Januario et al. stellten 2008 eine Studie vor, in der sie ein Verfahren zur Messung der Gingivadicke mittels DVT-Aufnahme beschreiben. Während der Aufnahme trägt der Patient einen Wangenretraktor und wird gebeten seine Zunge an den Mundboden zu drücken. Dadurch wird eine Überlagerung der Gingiva durch andere Weichgewebe während der Aufnahme verhindert. Die eigentliche Messung erfolgt mittels Software, die eine Längenmessung in der DVT-Aufnahme ermöglicht. Ohne die Überlagerung der Lippen und Zunge, ist die vestibuläre Begrenzung der Gingiva in der Aufnahme zu erkennen (siehe Abb. 7). Die Gingivadicke kann somit als Strecke zwischen Knochenoberfläche und Gingivaoberfläche gemessen werden. Dies ist möglich an allen Stellen, an denen die Gingivaoberfläche nicht von anderen Weichgeweben überlagert ist [Januario et al. 2008].



Abb. 7 DVT-Aufnahme eines mittleren Incisivus. (Die Pfeile zeigen auf die faziale und palatinale Gingiva.)

4.2 invasive Verfahren

4.2.1 transgingivales Sondieren

Das transgingivale Sondieren als Verfahren zur Messung der Dicke der Gingiva wird von mehreren Autoren beschrieben. Es ist ein invasives Verfahren bei dem ein Messinstrument durch die Gingiva bis auf Knochen- oder Zahnkontakt gestochen wird. Das Prinzip der Messmethode ist, die Gingivadicke anhand der Eindringtiefe eines spitzen Instruments zu ermitteln.

4.2.1.1 manuelle Messung

Bei dem einfachsten und am häufigsten beschriebenen Verfahren wird beispielsweise ein mit Einkerbungen präparierter Stahldraht oder eine mit einem Gummiring versehene Spritzennadel bis auf Knochenkontakt in die Mukosa vorgeschoben (siehe Abb. 8). Anschließend kann, anhand der Einkerbungen [Claffey et Shanley 1986] oder mithilfe des auf die Gingiva vorgeschobenen Gummiring und einer Messung mit dem Lineal [Olsson et al. 1993], die Dicke der Gingiva bestimmt werden.

Das Verfahren kann im Bereich der gesamten mastikatorischen Mukosa angewendet werden [Studer et al. 1997].



Abb. 8 Darstellung des transgingivalen Sondierens.

4.2.1.2 Verwendung einer Messuhr

Ein direktes Ablesen der Eindringtiefe während der Sondierung soll eine umgebaute Messuhr ermöglichen. Ein Messarm wird mit einem spitzen Draht versehen, der andere Messarm mit einem stumpfen Draht. Während bei der Messung der spitze Draht die Gingiva perforiert, ruht der stumpfe Draht drucklos auf dem Epithel. Die Distanz zwischen den beiden Spitzen der Drähte kann auf 0,1 mm genau abgelesen werden [Grosse 1976].

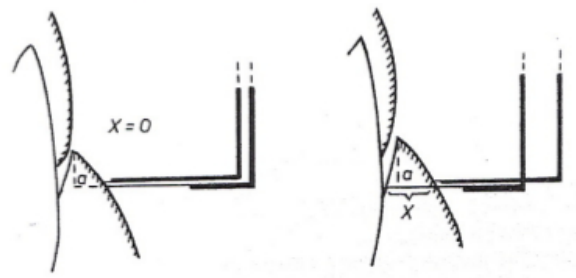


Abb. 9 Schematische Darstellung der Gingivamessung mithilfe einer Messuhr.

4.2.1.3 Sondierung mit einer Transformator-Sonde

Bei diesem 1977 von Goasind et al. beschriebenen Verfahren wird eine Sonde, welche mit einem Transformator verbunden ist, rechtwinklig zur Gingivaoberfläche bis auf Knochenkontakt eingeführt. Die Sonde ist umgeben von einer Acrylmanschette, welche beim Einstich durch die Gingiva verschoben wird. Die Acrylmanschette wird dabei durch eine Feder auf Spannung gehalten. Die Strecke, um die die Acrylmanschette verschoben wird, wird mithilfe eines Voltmeters gemessen, sie entspricht der Gingivadie [Goasind et al. 1977]. Das Verfahren eignet sich zur Messung der gesamten mastikatorischen Mukosa.

4.2.2 direkte Messung nach Lappenbildung

Die direkte Messung der Dicke der Gingiva mithilfe einer Schieblehre ist dann möglich, wenn die Gingiva im Sinne einer Lappenbildung vom Knochen abgehoben wird. Dieses Verfahren erfordert eine Operation und eine Modifikation der Gingiva [Anderegg et al. 1995]. Die Anwendbarkeit des Verfahrens ist somit auf bestimmte Fragestellungen beschränkt. Prinzipiell ist eine Untersuchung der gesamten oralen Mukosa möglich.

5 Patienten und Methode

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist eine Untersuchungsmethodik vorzustellen, mit der man die Qualität der Gingiva valide, schmerzfrei und zeitarms bestimmen kann. Zudem sollen anhand der gewonnenen Daten Zusammenhänge parodontaler Parameter überprüft und geschlechts- und altersspezifische Ausprägungen der gemessenen Parameter identifiziert werden. Das Studienprotokoll umfasst eine ausführliche klinische und sonographische Untersuchung der Gingiva der OK-Front, sowie Fotoaufnahmen und Abformungen der OK-Frontzähne. Zuvor wurde eine Versuchsreihe am Schweinekiefer zur Validierung der sonographischen Messmethode durchgeführt.

5.1 Patienten

Das untersuchte Patientenkollektiv setzt sich zusammen aus Patienten, Angestellten und Studenten der Universitätsklinik Regensburg. Untersucht wurden insgesamt 97 kaukasische Patienten, 59 weibliche und 38 männliche, aus 3 Altersgruppen. Patienten mit folgenden Merkmalen, die zu einer Veränderung der Gingivamorphologie oder der Zahnform führen können, wurden von der Untersuchung ausgeschlossen:

1. bekannte Mundschleimhauterkrankungen (bspw. lichen planus, lupus erythematodes)
2. systemische Erkrankungen mit Einfluss auf die Gingiva (Diabetes mellitus, Leukämie)
3. Einnahme von Medikamenten (zum Zeitpunkt der Untersuchung oder in den vorherigen 12 Monaten), die in den Calcium-Stoffwechsel eingreifen (bspw. Nifedipin, Cyclosporin A, Phenytoin)
4. schwangere und laktierende Frauen
5. Entzündungen der Gingiva gekennzeichnet durch Sondierungstiefen $\geq 3,5\text{mm}$
6. Zustand nach Parodontaltherapie
7. Bruxismus
8. prothetische oder konservative Versorgung der OK-Front, durch die das ursprüngliche Verhältnis von Zahnbreite zu Zahnlänge verändert wurde
9. Kinder unter 12 Jahren

Die Patienten wurden vor der Untersuchung ausführlich schriftlich und mündlich aufgeklärt, sodass mögliche Fragen zum Untersuchungsablauf beantwortet werden konnten. Alle Patienten gaben schriftliches Einverständnis, bei minderjährigen Patienten wurde zusätzlich das schriftliche Einverständnis eines Elternteils eingeholt. Die Untersuchung fand in einer Sitzung statt, als Aufwandentschädigung wurde den Patienten eine professionelle Zahnreinigung angeboten.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die drei untersuchten Patientengruppen.

Tab.3 Übersicht über das Patientenkollektiv.

Patientenalter	untersuchte Patienten	weiblich	männlich
13-18 Jahre	30	20	10
19-30 Jahre	39	23	16
31-73 Jahre	28	16	12

5.2 untersuchte Parameter und Methodik

5.2.1 Beschreibung des Ultraschallgerätes

Für die Ultraschallmessung der Gingivadicke wurde das Ultraschallgerät Esaote® MyLabOne™ mit der Sonde SI3116 verwendet (siehe Abb. 11).



Abb. 10 Esaote® MyLab Desk Workstation™ Arbeitsfläche

Das MyLabOne™ ist ein tragbares Ultraschallgerät, welches über einen Touchscreen gesteuert wird. Es kann Frequenzen zwischen 1 MHz und 22 MHz generieren. Es verfügt über eine Einfrierfunktion zum Erstellen von Bildern in voller Auflösung und zur Durchführung von Messungen. Über eine USB-Schnittstelle können die nativen Daten, Bilder im JPG-, BMP-, PNG- oder AVI- Format und DICOM-Daten ausgelesen werden. Mit der zugehörigen Software *MyLab™ Desk Workstation* können die nativen Daten an einem PC (Betriebssystem Windows™) ausgewertet werden (siehe Abb. 10).

Die Sonde SL3116 besitzt einen 20 mm langen Linearschallkopf. Sie arbeitet im B-Mode und kann auf drei Frequenzen eingestellt werden (15.0 - 18.0 - 22.0 MHz). Die Bildtiefe liegt dementsprechend zwischen 5 mm und 40 mm. Der Fokus ist einstellbar in 4 Stufen. Die extrem hohe Auflösung, bei einer Frequenz von 22 MHz (XHF™ *eXtreme High Frequency Imaging*), ermöglicht eine detaillierte Beurteilung oberflächlicher Strukturen.



Abb. 11 Esaote® MyLabOne™

5.2.2 Versuchsreihe zur Validierung der sonographischen Messmethode

Die Vorversuche wurden an vier halben Schweinekiefern durchgeführt. Die schlachtfrischen Schweinekiefer wurden ausschließlich gekühlt und nicht eingefroren, um Strukturveränderung durch das Einfrieren und Auftauen auszuschließen.

Es wurde ein herkömmliches wasserhaltiges Ultraschall-Kontaktgel (Caesar&Loretz GmbH, Hilden, Deutschland) verwendet, um einen Kontakt zwischen Schweinemukosa und Sonde unter Luftausschluss herzustellen. Die Verwendung eines Ultraschall-Kontaktgels verhindert die Entstehung von Artefakten, die durch die beinahe vollständige Reflexion der Wellen beim Übergang in das Medium Luft zustande kommen.

Es wurden zwei verschiedene Versuchsaufbauten gewählt, um die Validität der Dickenmessung der Schweinegingiva zu bestimmen. Im ersten Versuch wurde zum Vergleich mit der sonographischen Messung eine direkte Messung der Gingiva mit einem Lineal durchgeführt. Der zweite Versuch diente der Überprüfung der Anwendbarkeit der Messmethode im Bereich des marginalen Parodonts. Als Vergleichsmessung wurde im zweiten Versuch die Messung der zuvor präparierten Gingiva mit einem Tasterzirkel gewählt.

5.2.2.1 Vorversuch 1

Für den ersten Versuch wurde zunächst ein 5 x 20 mm breiter Mukosalappen präpariert. Mit einem Schleimhautstift wurden drei Markierungen entlang der 20 mm langen Schnittkante gemacht. Die Sonde wurde quer zum präparierten Balken und senkrecht zur Knochenoberfläche an den Markierungen über der Gingiva positioniert (siehe Abb. 12). Um



Abb. 12 Positionierung der Sonde am Schweinekiefer im Vorversuch 1

die Gingiva nicht zu komprimieren und um eine sonographische Abbildung der Gingivaoberfläche zu erhalten, wurde dabei eine dünne Schicht Kontaktgel zwischen Gingiva und Sonde belassen. Mithilfe der Einfrierfunktion des MyLabOneTM wurden die Sonogramme abgespeichert. Dies ermöglichte eine anschließende Auswertung mit der zugehörigen Computersoftware (MyLabOneTM Desk Workstation). Die Auflösung der Ultraschallsonde und die Messfunktion der Software ermöglichen die Messung der

Gingivadicke mit einer Genauigkeit von 0,01 mm. Für die direkte Messung der Dicke der Gingiva wurde ein Lineal an der Schnittkante angelegt (siehe Abb. 14) und die Dicke wurde visuell auf 0,5 mm genau bestimmt.

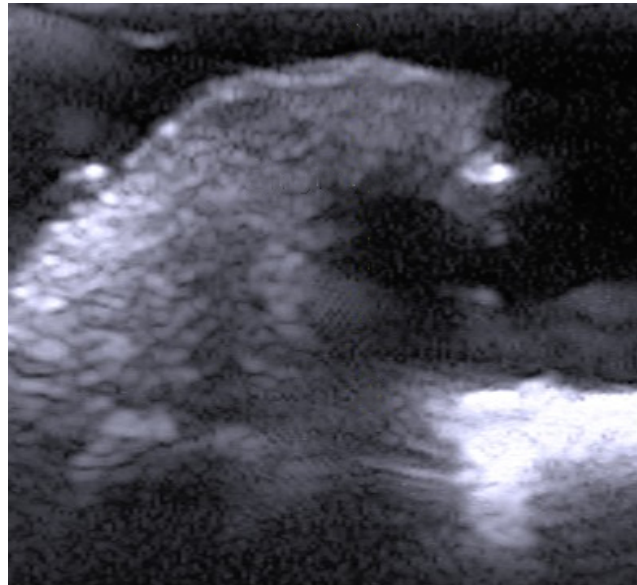


Abb. 13 Sonographische Darstellung der Schnittkante

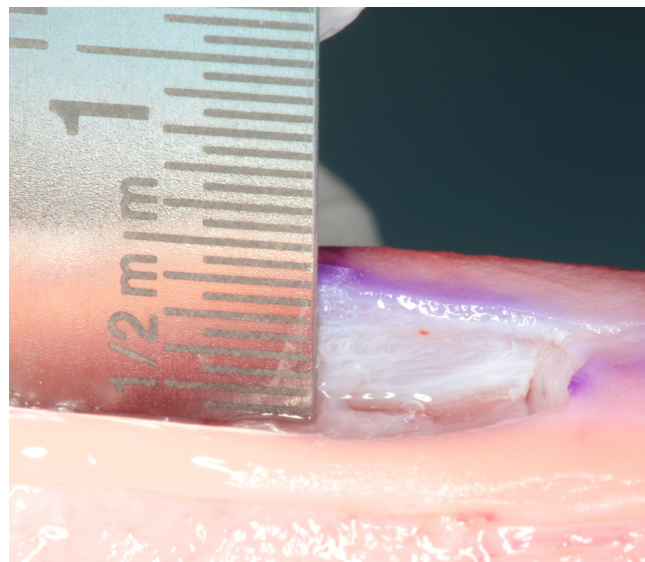


Abb. 14 Direkte Messung der Gingiva im Vorversuch 1

5.2.2.2 Vorversuch 2

Für den zweiten Vorversuch wurden drei Schweinekiefer verwendet, an denen je sechs Messpunkte festgelegt wurden (siehe Abb. 15). Die Ultraschallsonde wurde längs der Markierungen, rechtwinklig zur Gingivaoberfläche, mit einem dünnen Film des Kontaktgels zwischen Gingiva und Sonde, positioniert. Die Scans wurden an jedem Messpunkt nach einer Stunde wiederholt. Die Sonogramme wurden wie im Vorversuch 1 (siehe Absatz 5.2.2.1) gespeichert und anschließend ausgewertet. Als Messpunkt wurde ein Punkt 1 mm apikal des limbus alveolaris gewählt. Es folgte die Präparation der zuvor geschallten Mukosa und die direkte, kompressionsfreie Messung der Gingivadiecke auf 0,1 mm genau mit einem Tasterzirkel (siehe Abb. 16).



Abb. 15 Messpunkte des zweiten Vorversuchs am Schweinekiefer



Abb. 16 Kompressionsfreie Messung der Gingiva mit einem Tasterzirkel

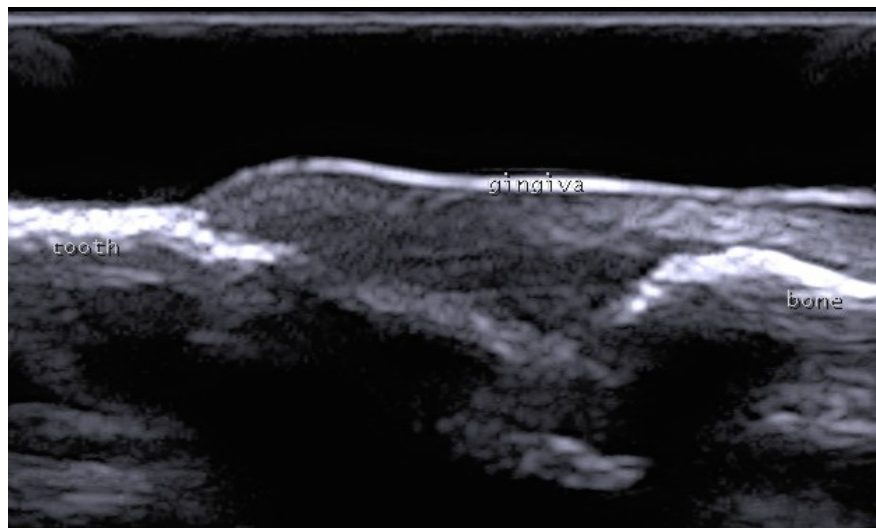


Abb. 17 Sonogramm des marginalen Parodonts eines Schweinekiefers

5.2.3 Untersuchungsprotokoll

Nach ausführlicher Aufklärung und Einwilligung des Patienten wurde die klinische und sonographische Untersuchung der Gingiva an einer Behandlungseinheit der Zahnklinik Regensburg durchgeführt. Untersucht wurden die Zahnform, die Breite, die Ausformung und die Dicke der Gingiva sowie der Entzündungsgrad und die Transparenz der Gingiva und die aktuelle Mundhygienesituation. Betrachtet wurden die Incisivi und Canini des Oberkiefers.

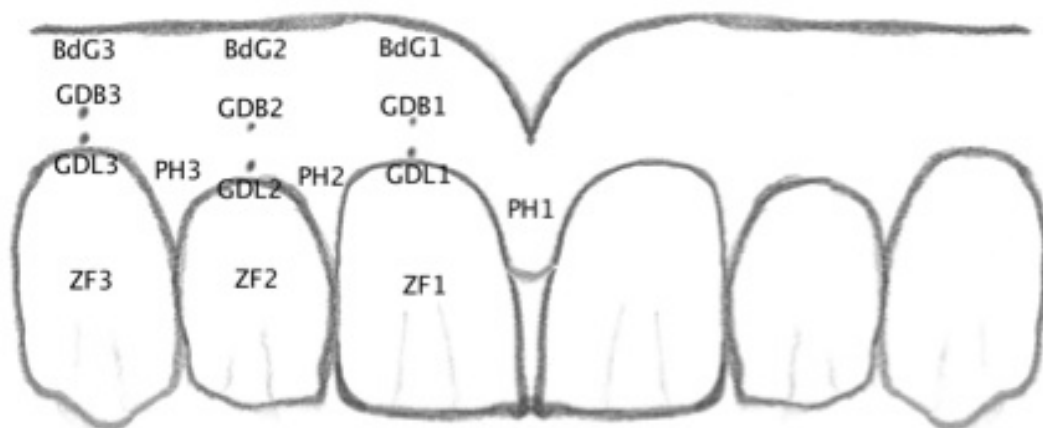


Abb. 18 Skizze zur Darstellung der Messpunkte; BdG, Breite der Gingiva; GDB, Dicke der Gingiva *fixa*; GDL, Dicke der Gingiva *libera*; ZF, Zahnform; PH, Papillenhöhe

In Abb. 18 sind die jeweiligen Messpositionen für die Breite der Gingiva, die Gingivadicke und die Papillenhöhe skizziert. Die Zahnform ist kein eigenständiger Messpunkt, sondern errechnet sich aus dem Messwert für die Zahnkronenbreite und die Zahnkronenlänge (siehe Abb. 23). Jede Messung wurde an drei Positionen pro Quadrant durchgeführt. Da die Papillenhöhe im Approximalbereich gemessen wird, ergeben sich fünf Messpunkte. Dargestellt sind die Messpositionen für den I Quadranten, diese können spiegelgleich auf den II Quadranten übertragen werden. Die genaue Lokalisation der Messpunkte im Einzelnen ist in den jeweiligen Kapiteln beschrieben und dargestellt.

5.2.3.1 sonographische Untersuchung

Um eine Irritation der Gingiva auszuschließen, wurde als erstes die sonographische Untersuchung des marginalen Parodonts durchgeführt. Ein spezielles Kontaktgel, welches für die intraorale Anwendung geeignet ist, kam dabei zur Verwendung. Das Gel wurde von der Apotheke der Universitätsklinik Regensburg hergestellt und in handelsübliche Einmalspritzen abgefüllt. Die Formel für das Kontaktgel wurde von der Firma Caelo® (Caesar&Loretz GmbH, Hilden, Deutschland) für diese Zwecke, vor der Markteinführung des Gels, zur Verfügung gestellt.

Die Sonde wurde mittig und in Längsachse des jeweiligen Zahns positioniert (siehe Abb. 19), aus bereits dargestellten Gründen (siehe Absatz 5.2.2.1), ohne einen direkten Kontakt zwischen Gingiva und Sonde herzustellen.



Abb. 19 Positionierung der Sonde

Die Sonde wurde so ausgerichtet, dass Zahn-, Gingiva- und Knochenoberfläche als deutliche Linien erkennbar waren (siehe Abb. 20). Der Fokus der Ultraschallsonde ist in vier Stufen einstellbar. Bei der gewählten Frequenz von 22 MHz ermöglicht die Sonde eine Darstellungstiefe von 5 mm. Der Fokus wurde auf das obere Drittel des Sonogramms gerichtet, da bei der gewählten Positionierung der Sonde die Gingiva und der Knochen in dieser Ebene dargestellt werden. Die Sonogramme wurden gleichsam der Vorversuche gespeichert und im Anschluss an die Untersuchung mit der Computersoftware ausgewertet.



Abb. 20 Sonogramm des marginalen Parodonts eines OK-Frontzahns

Es wurden zwei Messpunkte gewählt, einer im Bereich der *Gingiva libera* und einer im Bereich der *Gingiva fixa*. Gemessen wurde rechtwinklig zur Gingivaoberfläche, jeweils 1 mm apikal und 1 mm koronal des limbus alveolaris (siehe Abb. 21). Die zwei Messpunkte sollen der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Dicke der *Gingiva libera* und der Dicke der *Gingiva fixa* dienen.

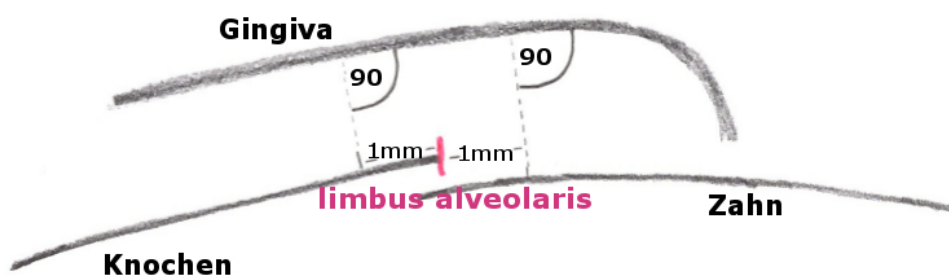


Abb. 21 Skizze zur Darstellung der Messpunkte der sonographischen Gingivadickenmessung.

Die Ultraschallmessung wurde an 30 willkürlich gewählten Messpunkten nach einer Woche wiederholt, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu analysieren. Um die Unabhängigkeit der Untersuchungsergebnisse vom Behandler zu überprüfen, wurden dieselben 30 Messpunkte diesmal zusätzlich von einem weiteren Behandler geschallt und am Computer ausgewertet. Der zweite Behandler wurde zuvor ausführlich in die Untersuchungsmethode und die Besonderheiten des Ultraschallgeräts eingewiesen.

5.2.3.2 parodontale Gesundheit

Zur Beurteilung der parodontalen Gesundheit wurde die Messung der Sondierungstiefe und die Erhebung eines Blutungsindex gewählt, da eine Blutung auf Sondieren als Marker für einen Entzündungsvorgang im marginalen Parodont gilt [Lang et al. 1986]. Die Sondierungstiefe wurde an je sechs Punkten pro Zahn gemessen. Zur Objektivierung der Messergebnisse wurde ein druckkalibriertes Parodontometer (Aesculap® DB764R UNC15, 0,2 N Federdruck, 1 mm Skalierung) verwendet. Bei der Messung auftretende Blutungen wurden dokumentiert. Für jeden Zahn wurde eine Ja-/Nein-Entscheidung getroffen, das bedeutet ein Zahn wurde als „BOP positiv“ markiert, falls an einem der sechs Messpunkte eine Blutung auf Sondierung auftrat.

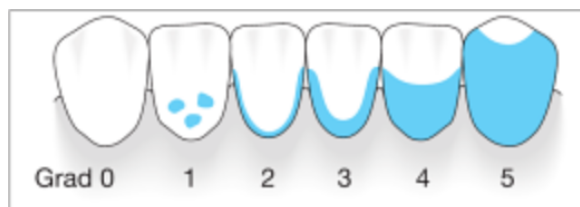


Abb. 22 Vestibulärer Plaquebefall und zugehörige Werte des QHI-Index

Tab. 4 Bewertung der Mundhygiene nach dem QHI-Index.

Ø QHI-Wert	Bewertung
≤1	Sehr gut
>1 & ≤2	Gut
<2 & ≤3	Befriedigend
>3	Mangelhaft

Zur Beurteilung der aktuellen Mundhygienesituation wurde der Quigley-Hein-Index gewählt (siehe Abb. 22 und Tab. 4). Anhand dieses Index wird der Plaquebefall der Zahnoberfläche bewertet [Hellwig et al. 2009]. Unter dem Licht der Behandlungseinheit und durch Tasten mit der Sonde wurde für jeden Zahn ein Wert bestimmt. Die Werte für die sechs Zähne wurden gemittelt und anhand des Durchschnittswerts wurde die aktuelle Mundhygienesituation beurteilt.

5.2.3.3 Zahnform und Ausformung des Gingivasaums

Zur Bestimmung der Zahnform wurde das von Olsson et Lindhe (1991) vorgeschlagene Verfahren gewählt. Durch die Wahl dieses Verfahrens wird die Komparabilität mit bereits durchgeführten Studien ermöglicht, da es das am häufigsten verwendete Verfahren darstellt. Die Zahnlänge wird dabei mittig des Zahns vom Gingivarand oder, falls detektierbar, von der Schmelz-Zement-Grenze bis zur Schneidekante gemessen. Der Zahn wird dann in seiner Länge gedrittelt und die Breite wird am Übergang vom zervikalen zum mittleren Drittel gemessen. Das Verhältnis von der Zahnkronenbreite zur Zahnkronenlänge wird berechnet. Je näher der Wert an 1 liegt, umso quadratischer ist der Zahn. Um die Messpunkte markieren und eine möglichst genaue Messung durchführen zu können, wurden Alginatabformungen gemacht und Gipsmodelle hergestellt. Die Papillenhöhe wurde am Modell, analog der Beschreibung von Olsson et al. (1993), senkrecht zur Zahnachse gemessen. Sie ist definiert als Abstand zwischen dem Kontaktpunkt zweier Nachbarzähne und einer gedachten Linie zwischen den tiefsten Einsenkungen der Gingivaränder dieser Zähne (siehe Abb. 23). Falls kein Kontaktpunkt vorhanden, wurde der inzisalste Punkt der Papille als Referenz verwendet. Die Papillenhöhe soll in dieser Studie verwendet werden, um die Ausformung des Gingivasaums zu beschreiben. Eine hohe Papille steht für einen ausgeprägt girlandenförmig verlaufenden Gingivasaum, eine niedrige für einen flach verlaufenden.

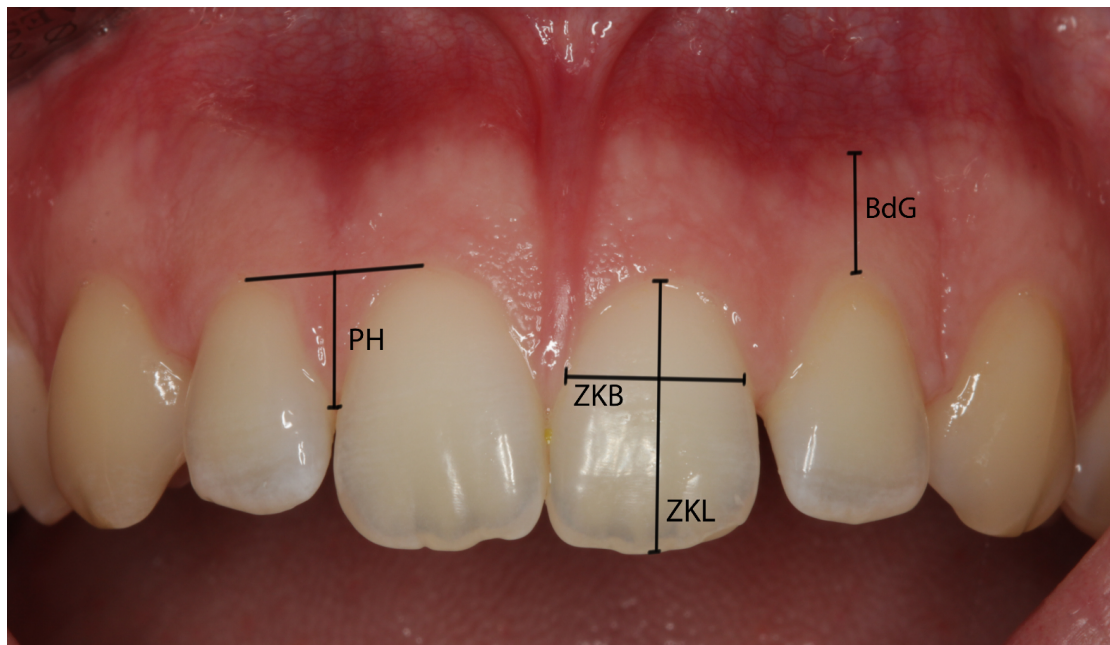


Abb. 23 Schematische Darstellung der Messungen; PH, Papillenhöhe; ZKB, Zahnkronenbreite; ZKL, Zahnkronenlänge; BdG, Breite der Gingiva

5.2.3.4 Breite der Gingiva

Für die Messung der Gingiva wurde ein schnelles und für den Patienten angenehmes Verfahren gewählt. Verschiebt man die Alveolarschleimhaut mit der flachen Sonde in Richtung der befestigten Gingiva, wirft diese sich am Übergang leicht auf. Mit diesem einfachen Verfahren wurde die mukogingivale Grenze lokalisiert. Die Messung der Breite der Gingiva erfolgte mittig des jeweiligen Zahns und wurde definiert als der Abstand zwischen dem Gingivasaum und der mukogingivalen Grenze (siehe Abb. 23 und Abb. 24). Gemessen wurde mit einem Messschieber mit einer zehntel Millimeter Skalierung (siehe Abb. 24).



Abb. 24 Links: Darstellung der mukogingivalen Grenze mithilfe einer Sonde.

Rechts: Messung der Breite der Gingiva mit einem Messschieber.

5.2.3.5 Gingivatransparenz

Zur Beurteilung der Transparenz der Gingiva wurde ein druckkalibriertes Parodontometer mittig in den Sulkus der beiden mittleren Incisivi eingeführt. Die Sichtbarkeit des Parodontometers wurde an beiden Incisivi separat in Form einer Ja-/Nein-Entscheidung beurteilt. Basierend auf dem von de Rouck et al. (2009) publizierten Bewertungsschema, wurde bei Sichtbarkeit der Sonde der Wert 0 vergeben und bei nicht sichtbarer Sonde der Wert 1. Für jeden Patienten ergibt sich somit ein summierter Wert (T-Wert) für beide Incisivi zwischen 0 und 2. Der T-Wert 0 deutet auf eine besonders dünne Gingiva hin, der T-Wert 2 auf eine besonders dicke Gingiva.

5.3 Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung wurde das Programm SPSS® Statistics Version 22 für Mac OS verwendet (IBM® Deutschland GmbH, Ehningen). Die Patientendaten wurden in anonymisierter Form verarbeitet und tabellarisiert.

Die Werte für den I und II Quadranten wurden gemittelt, sodass für den mittleren und seitlichen Incisivus und für den Caninus je ein Wert für die Berechnungen verwendet wurde, zudem wurde der Durchschnitt aller sechs Zähne berechnet.

Die Reliabilität der Messmethode wurde mithilfe des Pearson-Korrelationskoeffizienten überprüft.

Zur Optimierung der Aussagekraft der Ergebnisse wurde zunächst statistisch eine Überprüfung der Eignung des Patientenkollektivs durchgeführt. Um eine Beeinflussung der Gingivadicke durch Entzündungsvorgänge im Parodont auszuschließen, wurde dafür der Einfluss des BOP und der aktuellen Mundhygienesituation auf die Dicke der Gingiva überprüft. Patienten mit einer mangelhaften Mundhygiene oder mit einem positiven BOP an mehr als vier Zähnen wurden vorweg ausgefiltert und nicht in weitere Untersuchungen eingeschlossen. Die Überprüfung erfolgte anhand einfaktorieller Varianzanalysen.

Die Parameter Gingivadicke, Breite der Gingiva, Zahnform und Papillenhöhe wurden nach Geschlecht und Altersgruppe aufgeteilt und analysiert. Zum Auffinden von geschlechtsspezifischen Besonderheiten wurden t-tests für unabhängige Stichproben eingesetzt. Zur altersspezifischen Untersuchung der Parameter wurden einfaktorielle Varianzanalysen durchgeführt. Zusätzlich kamen bei signifikanten Ergebnissen Post-hoc-Tests zum Einsatz, um die Unterschiede in den Altersgruppen tiefergreifender zu analysieren. Die Vermutung, dass die Zahnform des mittleren Incisivus als Richtwert verwendet werden kann für die Form aller Frontzähne, wurde durch Anwendung einer Korrelationsanalyse überprüft. Zur Überprüfung der parodontalen Parameter auf Korrelation mit der Gingivadicke wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient ermittelt. Die Pearson-Korrelation wurde gewählt, da man von linearen Zusammenhängen ausgeht.

6 Ergebnisse

6.1 Vorversuche

Tab. 5 Ergebnis der sonographischen und direkten Messung der ersten Vorversuchsreihe am Schweinekiefer.

Messpunkt	Sonographie	Lineal	Differenz
1	3,88	4,0	0,12
2	4,31	4,5	0,19
3	3,94	4,0	0,06

Angaben in mm

Tab. 5 zeigt die Ergebnisse der ersten Vorversuchsreihe am Schweinekiefer. Die Messwerte der sonographischen Messung der Gingivadicke und der direkten Messung differieren maximal um 0,19 mm. Da die Messung mit dem Lineal nur eine Genauigkeit von einem halben Millimeter zulässt, ist diese Differenz vernachlässigbar. Das Ergebnis weist auf eine hohe Genauigkeit der Ultraschallmessung hin.

Tab. 6 Ergebnis der zweiten Vorversuchsreihe am Schweinekiefer. Differenzen und Übereinstimmungen zwischen der sonographischen Messung der Dicke der Schweinegingiva und der direkten Messung mit dem Zirkel.

	Pearson's r (Signifikanzniveau)	MW-Diff. (95%)	Übereinstimmung	
Sono1 – Sono2	,870** (p < 0,0001)	0,01 (-0,03 – 0,04)	58%	17%
Zirkel – Sono1	,672** (p < 0,0001)	0,1 (0,04 – 0,16)	25%	
Zirkel – Sono2	,677** (p < 0,0001)	0,11 (0,05-0,17)	25%	

Sono1, Ultraschallmessung zum ersten Messzeitpunkt; Sono2, Ultraschallmessung zum zweiten Messzeitpunkt; Zirkel, direkte Messung mit dem Zirkel; MW-Diff. (95%), Mittelwertdifferenz und 95% Konfidenzintervall der Differenz in mm; hochsignifikante Korrelationen mit ** markiert

Tab. 6 sind die Ergebnisse der sonographischen Untersuchung der Schweinegingiva im Bereich des marginalen Parodonts zu entnehmen. Die sonographischen Messungen zum Zeitpunkt 1 und 2 zeigen eine durchschnittliche Differenz von 0,01 mm. 58% der Messungen stimmen überein. Eine gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse der sonographischen Messung ist somit gegeben.

Mit dem Tasterzirkel wurden im Durchschnitt höhere Werte gemessen als sonographisch. Die durchschnittliche Differenz zwischen den Messverfahren ist mit 0,1 mm für den ersten Messzeitpunkt (Sono1) und 0,11 mm für den zweiten Messzeitpunkt (Sono2) annähernd

gleich. Eine Übereinstimmung der direkten Messung mit der sonographischen Messung liegt in 25% der Fälle vor. 17% der Messpunkte zeigen eine Übereinstimmung aller drei Messungen. Ein durchschnittlicher Messfehler von einem zehntel Millimeter wird als hohe Messgenauigkeit gewertet.

Die Ergebnisse der Vorversuchsreihen am Schweinekiefer indizieren eine hohe Messgenauigkeit und eine gute Reproduzierbarkeit der sonographischen Messung der Gingivadicke.

6.2 Reliabilität der Ultraschallmessung am Patienten

Tab. 7 Ergebnis der Reliabilitätsanalyse zur Ultraschallmessung der Gingivadicke.

	Pearson's r (Signifikanzniveau)		Mittelwertdifferenz (95% Konfidenz)	
	GDB	GDL	GDB	GDL
B1_1 – B1_2	,855** (p < 0,0001)	,883** (p < 0,0001)	0,06 (0,02 - 0,1)	-0,02 (-0,06-0,02)
B1_1 – B2	,743** (p < 0,0001)	,831** (p < 0,0001)	0,05 (0 - 0,1)	0,02 (-0,04-0,07)
B1_2 – B2	,791** (p < 0,0001)	,892** (p < 0,0001)	0,01 (0,03 - 0,05)	0,04 (-0,01-0,8)

B1_1, Behandler 1 zum ersten Messzeitpunkt; B1_2, Behandler 1 zum zweiten Messzeitpunkt; B2, Behandler 2; Mittelwertdifferenz und 95% Konfidenzintervall der Differenz in mm; hochsignifikante Korrelationen mit ** markiert

Tab. 7 sind die Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse zu entnehmen. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die Messungen zum ersten Zeitpunkt stark mit den Messungen zum zweiten Zeitpunkt korrelieren. Die durchschnittliche Differenz der beiden Messungen liegt bei 0,06 mm für die Dicke der Gingiva *fixa* und 0,02 mm für die Dicke der Gingiva *libera*. Die Messungen zu den unterschiedlichen Zeitpunkten zeigen somit eine hohe Übereinstimmung. Dies lässt auf eine *gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse eines Behandlers* schließen. Auch die *Behandler-unabhängige Reproduzierbarkeit der Messergebnisse* ist gegeben. Die Messergebnisse zeigen eine gute Korrelation und durchschnittliche Messabweichungen von maximal 0,05 mm für die Gingiva *fixa* und 0,04 mm für die Gingiva *libera*. Die Messergebnisse differieren somit um weniger als einen zehntel Millimeter.

Das Messverfahren ist reliabel.

6.3 Überprüfung des Patientenkollektivs

Nach dem Ausfiltern der Patienten mit einer mangelhaften Mundhygienesituation und einem erhöhten Entzündungsgrad der Gingiva setzt sich das Patientenkollektiv wie in Tab. 8 dargestellt zusammen. Die durchschnittliche Sondierungstiefe liegt bei 1,95 mm (CV 12%).

Tab. 8 Zusammensetzung des Patientenkollektiv nach dem Ausfiltern von Patienten mit \emptyset QHI-Wert > 3 und BOPpos > 4.

Patientenalter	untersuchte Patienten	Weiblich	männlich
13-18 Jahre	28 (30)	19 (20)	9 (10)
19-30 Jahre	37 (39)	22 (23)	15 (16)
31-73 Jahre	24 (28)	15 (16)	9 (12)
13-73 Jahre	89	56	33

Ursprüngliche Patientenanzahl in Klammern

6.3.1 Einfluss des Blutungsindex auf die Gingivadicke

Tab. 9 Ergebnis des Vergleichs der Gingivadicke von Patienten mit unterschiedlich hohem BOP-Wert.

BOP pos	0	1	2	3	4	Sig
\emptyset GDB	0,82 (15%)	0,75 (17%)	0,85 (14%)	0,84 (15%)	0,83 (32%)	,133
GDB1	0,9 (17%)	0,86 (18%)	0,97 (20%)	0,99 (17%)	0,92 (31%)	,208
GDB2	0,76 (22%)	0,72 (23%)	0,84 (24%)	0,80 (18%)	0,77 (43%)	,244
GDB3	0,8 (25%)	0,67 (21%)	0,74 (20%)	0,73 (16%)	0,8 (34%)	,076
\emptyset GDL	1,25 (13%)	1,25 (14%)	1,33 (11%)	1,34 (14%)	1,13 (23%)	,087
GDL1	1,41 (16%)	1,41 (15%)	1,51 (11%)	1,55 (15%)	1,36 (24%)	,176
GDL2	1,22 (15%)	1,25 (15%)	1,33 (14%)	1,31 (14%)	1,09 (30%)	,109
GDL3	1,13 (16%)	1,07 (17%)	1,16 (17%)	1,16 (18%)	0,95 (18%)	,106

Mittelwerte der GD in mm; Standardabweichung, als Variationskoeffizient in Klammern; Extrema farblich gekennzeichnet; grün, minimalster Wert; rot, maximalster Wert; Sig, Signifikanz der Mittelwertdifferenz

Für den vorliegenden Mittelwertvergleich (siehe Tab. 9) wurden die Patienten anhand des Merkmals „BOP positiv“ in fünf Gruppen eingeteilt. Die Gruppennummer entspricht dabei der Anzahl der Zähne, die eine Blutung auf Sondieren zeigten. Der höchste und niedrigste Mittelwert pro Messpunkt sind farblich unterlegt. Für alle Messpunkte der *Gingiva fixa* finden sich die niedrigsten Durchschnittswerte in Gruppe 1, für die Messpunkte der *Gingiva libera* in Gruppe 4. Auffällig ist, dass am Messpunkt GDB3 der Maximalwerte von 0,8 mm sowohl in

Gruppe 0 als auch in Gruppe 4 vorliegt. Die größte Streuung der Messwerte zeigt sich in Gruppe 4. Eine aufsteigende Tendenz der Mittelwerte mit zunehmendem BOP-Wert ist nicht zu erkennen. Die Unterschiede der Gingivadicke sind an keinem Messpunkt signifikant (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Von einem Einfluss des BOP-Werts auf die Dicke der Gingiva ist in dem vorliegenden Patientenkollektiv nicht auszugehen.

6.3.2 Einfluss der Mundhygiene auf die Gingivadicke

Tab. 10 Ergebnis des Vergleichs der Gingivadicke von Patienten mit unterschiedlicher Mundhygiene.

MuHy	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Sig
øGDB	0,8 (16%)	0,85 (20%)	0,75 (24%)	,296
GDB1	0,9 (19%)	0,99 (19%)	0,8 (16%)	,071
GDB2	0,76 (20%)	0,81 (29%)	0,64 (30%)	,249
GDB3	0,74 (24%)	0,75 (20%)	0,8 (30%)	,781
øGDL	1,26 (14%)	1,3 (13%)	1,26 (21%)	,752
GDL1	1,42 (15%)	1,52 (17%)	1,4 (19%)	,314
GDL2	1,25 (16%)	1,27 (16%)	1,24 (22%)	,930
GDL3	1,11 (18%)	1,11 (15%)	1,15 (26%)	,909

Mittelwerte der GD in mm; Standardabweichung, als Variationskoeffizient in Klammern; Extrema farblich gekennzeichnet; grün, minimalster Wert; rot, maximalster Wert; Sig, Signifikanz der Mittelwertdifferenz

Tab. 10 zeigt eine Einteilung des Patientenkollektivs anhand des Merkmals Mundhygiene. Die Extrema der Mittelwerte sind farblich unterlegt.

In dem vorliegenden Patientenkollektiv lässt sich lediglich für die Messpunkte GDB3 und GDL3 ein leichter Anstieg der Gingivadicke mit Verschlechterung der Mundhygiene beobachten. Die Mittelwerte sind an keinem der Messpunkte signifikant verschieden (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Ein Einfluss der Mundhygiene auf die Gingivadicke kann in dem vorliegenden Patientenkollektiv somit ausgeschlossen werden.

6.4 Geschlechts- und altersspezifische Unterschiede

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Untersuchung geschlechts- und altersspezifischer Unterschiede der parodontalen Parameter aufgeführt. Die Tabellen zeigen jeweils die

Mittelwerte und die Standardabweichungen, zur besseren Vergleichbarkeit als Variationskoeffizient in Prozent ausgedrückt, sowie die Extrema der gemessenen Werte, sortiert nach Geschlecht und Alter. Die Mittelwertdifferenz und die Signifikanz der Differenz sind für die geschlechtsspezifischen Unterschiede in der jeweils ersten Tabelle aufgeführt. Wo eine signifikante Differenz der Mittelwerte der Altersgruppen vorliegt (Signifikanzniveau $p < 0,05$) wurde ein Post-Hoc-Test durchgeführt, dessen Ergebnisse in einer weiteren Tabelle aufgeführt sind.

6.4.1 Breite der Gingiva

Tab. 11 Ergebnis der Messung der Breite der Gingiva aufgeteilt nach Geschlecht und Altersgruppen.

	øBdG			BdG1			BdG2			BdG3		
Geschlechtsspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
Weiblich	4,89	27	1,5-7,83	4,92	27	2,0-8,5	5,55	25	1,5-9,25	4,2	38	0,75-8,5
Männlich	4,96	22	3,25-7,83	4,89	24	3,0-8,0	5,7	23	3,5-9,0	4,31	31	1,75-8,0
MW-Diff.	-0,07 (p=0,788)			0,03 (p=0,906)			-0,14 (p=0,627)			-0,11 (p=0,739)		
Altersspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
<18	4,62	20	2,75-6,17	4,61	20	3,0-6,0	5,38	19	3,75-7,5	3,87	32	1,25-6,0
19-30	5,25	23	2,67-7,83	5,17	25	2,0-8,0	5,92	20	3,5-9,0	4,65	33	2,5-8,5
>30	4,76	32	1,5-7,75	4,85	31	2,25-8,5	5,39	32	1,5-9,25	4,05	39	0,75-6,75
Sig. (p)	0,096			0,206			0,178			0,084		

MW, Mittelwert in mm; CV, Variationskoeffizient in %; MW-Diff., Mittelwertdifferenz in mm; Sig, Signifikanz der Mittelwertdifferenz

Dem ersten Abschnitt der Tab. 11 lassen sich keine signifikanten geschlechtsbezogenen Unterschiede der Gingivabreite entnehmen (Signifikanzniveau $p < 0,05$). Der maximale Wert der durchschnittlichen Breite der Gingiva (øBdG) ist mit 7,83 mm für beide Geschlechter identisch, die im Durchschnitt schmalste Gingiva von 1,5 mm wurde bei einer Frau gemessen. Bei beiden Geschlechtern wurden die geringsten Werte für die Breite der Gingiva an den Canini gemessen, die höchsten an den seitlichen Incisivi.

Insgesamt besteht nur eine geringe Mittelwertdifferenz zwischen den Geschlechtern an allen Messpunkten. Die hohen Variationskoeffizienten und die großen Differenzen zwischen Minima und Maxima weisen jedoch auf große, patientenbezogene Unterschiede der Gingivabreite hin. Vor allem an den Canini variiert die Breite stark.

Der zweite Abschnitt der Tab. 11, der die altersbezogenen Unterschiede darstellt, lässt eine Tendenz erkennen. Die durchschnittlich breiteste Gingiva wurde bei Patienten der mittleren Altersgruppe, die schmalste bei Patienten der jüngsten Altersgruppe gemessen, diese Ergebnis spiegelt sich in allen Messpunkten wieder. Betrachtet man die Tabelle als Ganzes, so ergibt sich:

- die schmalste Gingiva wurde an den Canini einer Frau aus der ältesten Patientengruppe gemessen
- die breiteste Gingiva wurde an den seitlichen Incisivi einer Frau aus der ältesten Patientengruppe gemessen

Weder die geschlechtsspezifischen noch die altersspezifischen Mittelwertdifferenzen sind signifikant (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Ein Einfluss des Geschlechts auf die Breite der Gingiva ist unwahrscheinlich. Die Ergebnisse lassen eine Zunahme der Gingivabreite während des Heranwachsens vermuten, die sich im Alter wieder umkehrt. Die gefundenen Ergebnisse konnten dies jedoch nicht signifikant belegen.

6.4.2 Ausformung des Gingivasaums

Tab. 12 Ergebnis der Messung der Papillenhöhe aufgeteilt nach Geschlecht und Altersgruppen.

	øPH (89)			PH1 (89)			PH2 (89)			PH3 (87)		
Geschlechtsspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
Weiblich	3,75	16	2,2-5,1	3,92	20	2,0-5,5	3,73	17	2,0-5,0	3,68	18	2,25-5,0
Männlich	4,06	22	2,1-6,1	4,35	25	1,5-7,0	4,03	22	1,75-5,75	3,97	26	2,0-6,0
MW-Diff.	-0,31 (p=0,08)			-0,43* (p=0,033)			-0,3 (p=0,07)			-0,3 (p=0,155)		
Altersspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
<18	3,55	16	2,2-4,7	4,0	18	2,0-5,5	3,6	17	2,0-4,5	3,24	21	2,0-4,5
19-30	4,08	19	2,5-6,1	4,34	22	3,0-7,0	4,01	19	2,25-5,75	4,02	20	2,5-6,0
>30	3,9	20	2,1-5,2	3,77	26	1,5-5,5	3,86	22	1,75-5,25	4,01	18	2,25-5,0
Sig. (p)	0,013*			0,052			0,085			0,000**		

MW, Mittelwert in mm; CV, Variationskoeffizient in %; MW-Diff., Mittelwertdifferenz in mm; signifikante Ergebnisse mit *, hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet; Sig., Signifikanz der Mittelwertdifferenz

Die Papillenhöhe wird als messbarer Wert zur Beurteilung der gingivalen Ausformung herangezogen. Die durchschnittliche Papillenhöhe beträgt 3,87 mm (CV 19%). Im Vergleich der Geschlechter, der im ersten Abschnitt von Tab. 12 dargestellt ist, lässt sich eine größere durchschnittliche Papillenhöhe (øPH) der männlichen Patienten erkennen. Durchschnittlich höhere Papillen konnten in der gesamten OK-Front gefunden werden. Die maximale Höhe wurde, an allen Messpunkten, bei einem männlichen Patienten gemessen, die minimale Höhe jedoch auch. Die in diesem Patientenkollektiv gefundenen geschlechtsbezogenen Differenzen sind mit Ausnahme vom Messpunkt PH1 nicht signifikant (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Es kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht geschlossen werden, dass Männer im Allgemeinen eine stärker ausgeprägte Girlandenform der Gingiva aufweisen als Frauen.

Im Vergleich der Mittelwerte der Altersgruppen finden sich im Bereich der gesamten OK-Front die höchsten Papillen bei Patienten der mittleren Altersgruppe. Auch die Maxima aller Messpunkte wurden in dieser Altersgruppe gemessen. Die niedrigste durchschnittliche Höhe (øPH) wurde bei den jüngsten Patienten gemessen. Dies ist in Übereinstimmung mit den Messpunkten PH2 und PH3, am Messpunkt PH1 wurden die durchschnittlich niedrigsten Papillen jedoch bei der ältesten Patientengruppe gemessen. Signifikant sind die Ergebnisse für die altersbezogenen Unterschiede der durchschnittlichen Papillenhöhe und der Papillenhöhe am Messpunkt PH3 (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Tab. 13 Ergebnis des Post-Hoc-Tests zur Präzisierung der Untersuchung der Mittelwertdifferenzen der Papillenhöhe von Patienten unterschiedlicher Altersgruppen.

	øPH	PH1	PH2	PH3
<18 -- 19-30	-0,53** ($p = 0,006$)	-0,34 ($p = 0,304$)	-0,42 ($p = 0,052$)	-0,78** ($p = 0,000$)
19-30 -- >30	0,18 ($p = 0,763$)	0,57 ($p = 0,086$)	0,15 ($p = 0,863$)	0,01 ($p = 1,0$)
>30 -- <18	0,53 ($p = 0,192$)	-0,23 ($p = 0,722$)	0,27 ($p = 0,494$)	0,77** ($p = 0,001$)

Mittelwertdifferenz in mm; Hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet

Aus Tab. 13 lässt sich ablesen, dass bei der jüngsten Patientengruppe im Durchschnitt sowie an Messpunkt PH3 eine signifikant geringere Papillenhöhe gemessen wurde als bei Patienten der mittleren Altersgruppe. Am Messpunkt PH3 wurden zudem bei den jüngsten Patienten signifikant niedrigere Werte gemessen als bei den ältesten (Signifikanzniveau $p < 0,01$).

Die Ergebnisse lassen keinen eindeutigen Rückschluss auf geschlechts- oder altersbezogene Unterschiede der gingivalen Ausformung zu.

6.4.3 Zahnform

Die Zahnform ist definiert als die Zahnbreite geteilt durch die Zahnlänge (siehe Absatz 5.2.3.3). Aufgrund des unvollständigen Zahndurchbruchs der seitlichen Incisivi und der Canini, konnte die Zahnform in der jüngsten Altersgruppe nicht für alle Patienten berechnet werden.

Tab. 14 Ergebnis der Messung des Kronenbreitenlängenverhältnisses aufgeteilt nach Geschlecht und Altersgruppen.

	øZF (86)			ZF1 (89)			ZF2 (88)			ZF3 (87)		
Geschlechtsspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
weiblich	0,716	10	0,56-0,88	0,777	11	0,55-0,94	0,669	15	0,5-0,94	0,705	14	0,54-0,94
männlich	0,711	14	0,57-0,95	0,763	13	0,6-0,97	0,693	16	0,54-1,0	0,68	18	0,52-0,97
MW-Diff.	0,01 (p=0,798)			0,01 (p=0,479)			-0,02 (p=0,288)			0,2 (p=0,371)		
Altersspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
<18	0,773	9	0,64-0,95	0,81	10	0,67-0,97	0,736	14	0,56-1,0	0,777	11	0,64-0,97
19-30	0,715	12	0,57-0,86	0,767	11	0,6-0,93	0,675	15	0,5-0,9	0,703	15	0,52-0,94
>30	0,652	9	0,56-0,78	0,736	13	0,55-0,95	0,616	9	0,5-0,72	0,603	10	0,53-0,72
Sig. (p)	0,000**			0,012*			0,000**			0,000**		

Probengröße in Klammern; MW, Mittelwert; CV, Variationskoeffizient in %; signifikante Ergebnisse mit *, hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet; Sig., Signifikanz der Mittelwertdifferenz

Tab. 14 ist zu entnehmen, dass die durchschnittliche Zahnform (øZF) der Geschlechter sich nur gering unterscheidet, wobei bei den weiblichen Patienten quadratischere Zähne gefunden wurden. Betrachtet man die Vermessungen der Zähne im Einzelnen, so ist dieses Ergebnis in Übereinstimmung mit den Werten für die mittleren Incisivi und die Canini. Die seitlichen Incisivi der Frauen sind im Durchschnitt länglicher als die der Männer. Eine statistische Signifikanz der geschlechtsbezogenen Unterschiede liegt nicht vor (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Aus dem zweiten Abschnitt der Tab. 14 lässt sich ein deutlicher Unterschied zwischen der Zahnform der jüngsten und der ältesten Patientengruppe ablesen. Die jüngste Patientengruppe

hat im Durchschnitt die quadratischsten Zähne, die älteste die länglichsten. Diese Differenz zeigt sich an allen vermessenen Zähnen. Für den altersbezogenen Mittelwertvergleich liegt eine statistische Signifikanz vor (Signifikanzniveau $p < 0,05$). Das Ergebnis des Post-hoc-Tests, zur Konkretisierung der gefundenen Mittelwertdifferenzen ist in Tab. 15 aufgeführt.

Dem Einzelvergleich ist zu entnehmen, dass ein signifikanter Unterschied der durchschnittlichen Zahnform ($\emptyset ZF$) und der Zahnform am Messpunkt ZF3 zwischen allen Altersgruppen besteht. Für die mittleren Incisivi ist der Unterschied nur zwischen der jüngsten und der ältesten Patientengruppen signifikant nachweisbar und für die seitlichen Incisivi zusätzlich zwischen der mittleren Altersgruppe und der ältesten (Signifikanzniveau $p < 0,05$). Die Zahnform der mittleren Incisivi weist die geringsten altersbezogenen Unterschiede auf (siehe Tab. 15).

Tab. 15 Ergebnis des Post-Hoc-Tests zur Präzisierung der Untersuchung der Mittelwertdifferenzen der Zahnform von Patienten unterschiedlicher Altersgruppen.

	$\emptyset ZF$ (86)	ZF1 (89)	ZF2 (88)	ZF3 (87)
<18 -- 19-30	0,06* ($p = 0,019$)	0,04 ($p = 0,130$)	0,06 ($p = 0,069$)	0,07** ($p = 0,008$)
19-30 -- >30	0,06** ($p = 0,002$)	0,03 ($p = 0,506$)	0,06* ($p = 0,014$)	0,1** ($p = 0,000$)
>30 -- <18	-0,12** ($p = 0,000$)	-0,07* ($p = 0,018$)	-0,12** ($p = 0,000$)	-0,17** ($p = 0,000$)

Signifikante Ergebnisse mit *, hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet

Anhand der vorliegenden Ergebnisse lässt sich nicht von einem geschlechtsspezifischen Unterschied der Zahnform ausgehen. Auf mögliche Ursachen für die gefundenen Unterschiede der Zahnform in den Altersgruppen soll im Rahmen der Diskussion eingegangen werden.

6.4.3.1 Korrelationsanalyse der Zahnformen der Oberkieferfrontzähne

Die Korrelationsanalyse zeigt einen positiven Zusammenhang zwischen der Zahnform der mittleren Incisivi und der Form der seitlichen Incisivi ($P = 0,575$) sowie der Form der Canini ($P = 0,502$) (Signifikanzniveau $p < 0,001$). Die Form der mittleren Incisivi korreliert zudem mit der durchschnittlichen Zahnform ($P = 0,796$) (Signifikanzniveau $p < 0,001$).

Für den Vergleich der Zahnform mit der Gingivadicke wird der Wert der mittleren Incisivi verwendet, da die Form der mittleren Incisivi nachweislich mit der Zahnform der restlichen Zähne der Oberkieferfront korreliert. Dies entspricht allgemeinen Beobachtungen.

6.4.4 Gingivadicke

Tab. 16 Mittelwerte der Dicke der Gingiva *fixa* und der Dicke der Gingiva *libera* im Vergleich und deren Korrelation.

	ØGDB	ØGDL	GDB1	GDL1	GDB2	GDL2	GDB3	GDL3
MW	0,81	1,27	0,91	1,44	0,77	1,25	0,74	1,11
CV	17	14	19	15	24	16	24	17
MW-Diff.	-0,46** (p=0,000)		-0,53** (p=0,000)		-0,49** (p=0,000)		-0,37** (p=0,000)	
Korr.	0,572** (p=0,000)		0,544** (p=0,000)		0,614** (p=0,000)		0,427** (p=0,000)	

MW, Mittelwert in mm; CV, Variationskoeffizient in %; MW-Diff., Mittelwertdifferenz in mm; Korr., Pearson's Korrelationskoeffizient; hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet

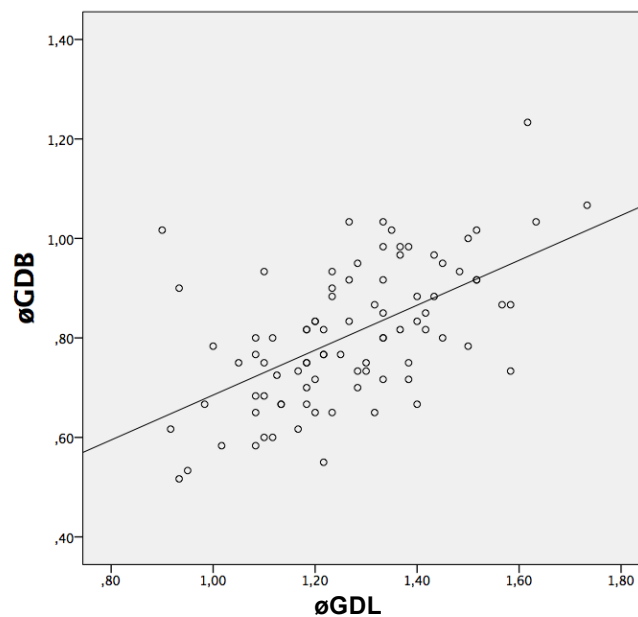


Abb. 25 Streudiagramm zur Veranschaulichung der Korrelation zwischen der durchschnittlichen Dicke der Gingiva *fixa* und der durchschnittlichen Dicke der Gingiva *libera*.

In Tab. 16 sind die Ergebnisse der Dickenmessung der Gingiva *fixa* und der Gingiva *libera* dargestellt. Es ist abzulesen, dass die Gingiva *fixa* im Durchschnitt um ungefähr einen halben Millimeter dünner ist als die Gingiva *libera*. An den Canini ist die Differenz etwas geringer als an den anderen Messpunkten. Dies kann damit zusammenhängen, dass an den Canini insgesamt die durchschnittlich kleinsten Werte gemessen wurden. Die Werte der Dicke der Gingiva *fixa* und der Gingiva *libera* korrelieren schwach positiv. Sowohl die Differenz der Mittelwerte als auch die positive Korrelation der gemessenen Werte sind hochsignifikant (Signifikanzniveau $p < 0,001$). Abb. 25 veranschaulicht das Ergebnis des Vergleichs der durchschnittlichen Dicke der Gingiva *fixa* (σ GDB) mit der durchschnittlichen Dicke der Gingiva *libera* (σ GDL). Jeder Punkt steht für einen Patientenfall. Die Gerade stellt den linearen Zusammenhang der beiden Messwerte dar. Ihre Steigung steht für den durchschnittlichen Anstieg der Dicke der Gingiva *libera* mit Zunahme der Dicke der Gingiva *fixa*. Lediglich bei einem Patienten des Kollektivs ist die durchschnittliche Dicke der Gingiva *libera* geringer als die der Gingiva *fixa*. Bei den übrigen Patienten ist die Gingiva *libera* dicker als die Gingiva *fixa*. An der Streuung der Punkte kann man erkennen, dass das Verhältnis zwischen dem Anstieg der Dicke der Gingiva *libera* und der Zunahme der Dicke der Gingiva *fixa* interindividuell verschieden ist. Die Streuung der Punkte wird durch den Korrelationskoeffizient $P = 0,572$ (siehe Tab. 16) ausgedrückt.

Das Diagramm zeigt somit, dass die Gingiva libera bei beinahe allen Patienten dicker ist als die Gingiva fixa. Sie zeigt jedoch auch, dass die Differenz beider Werte sich patientenbezogen deutlich unterscheidet.

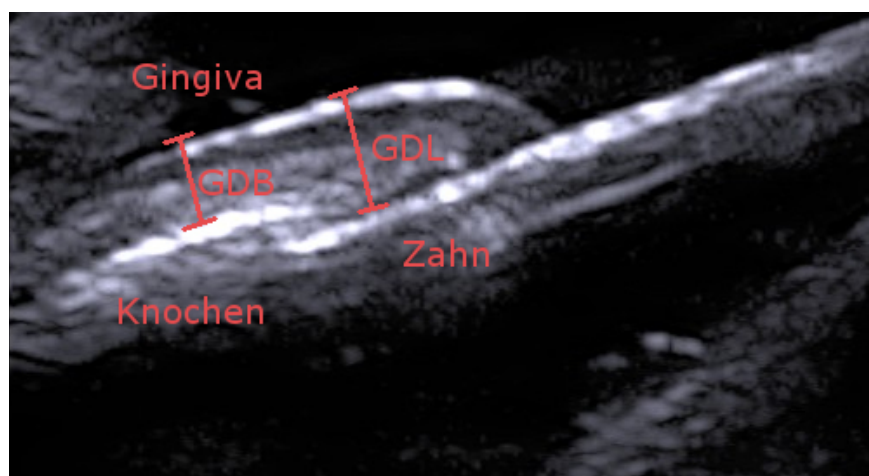


Abb. 26 Skizze zur Darstellung der Differenz zwischen der Dicke der Gingiva *fixa* und der Dicke der Gingiva *libera*.

Tab. 17 Ergebnis der Messung der Dicke der Gingiva *fixa* aufgeteilt nach Geschlecht und Altersgruppen.

	øGDB			GDB1			GDB2			GDB3		
Geschlechtsspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
weiblich	0,77	17	0,52-1,03	0,87	20	0,6-1,45	0,74	20	0,45-1,1	0,71	23	0,45-1,15
männlich	0,86	16	0,6-1,23	0,97	17	0,7-1,4	0,82	27	0,4-1,35	0,8	24	0,45-1,3
MW-Diff.	-0,09** (p=0,002)			-0,1** (p=0,007)			-0,08 (p=0,063)			-0,09* (p=0,024)		
Altersspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
<18	0,87	12	0,65-1,03	0,91	17	0,65-1,25	0,84	17	0,55-1,1	0,85	18	0,65-1,3
19-30	0,77	16	0,53-1,07	0,89	18	0,6-1,2	0,74	24	0,45-1,3	0,67	19	0,45-0,95
>30	0,79	22	0,52-1,23	0,94	24	0,6-1,45	0,72	30	0,4-1,35	0,73	28	0,45-1,3
Sig. (p)	0,015*			0,649			0,03*			0,000**		

MW, Mittelwert in mm; CV, Variationskoeffizient in %; MW-Diff., Mittelwertdifferenz in mm; signifikante Ergebnisse mit *, hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet; Sig., Signifikanz der Mittelwertdifferenz

Tab. 18 Ergebnis des Post-Hoc-Tests zur Präzisierung der Untersuchung der Mittelwertdifferenzen der Dicke der Gingiva *fixa* von Patienten unterschiedlicher Altersgruppen.

	øGDB	GDB1	GDB2	GDB3
<18 -- 19-30	0,1** (p = 0,003)	0,02 (p=0,963)	0,1* (p=0,042)	0,18** (p=0,000)
19-30 -- >30	-0,03 (p =0,882)	-0,04 (p=0,799)	0,02 (p=0,967)	-0,06 (p=0,49)
>30 -- <18	-0,07 (p=0,237)	0,03 (p=0,949)	-0,12 (p=0,061)	-0,12 (p=0,059)

Mittelwertdifferenzen in mm; signifikante Ergebnisse mit *, hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet

Tab. 19 Ergebnis der Messung der Dicke der Gingiva *libera* aufgeteilt nach Geschlecht und Altersgruppen.

	øGDL			GDL1			GDL2			GDL3		
Geschlechtsspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
weiblich	1,22	14	0,9-1,63	1,39	15	1,0-1,95	1,21	15	0,7-1,55	1,07	18	0,7-1,5
männlich	1,34	12	1,05-1,73	1,53	14	1,1-1,9	1,32	16	0,95-1,8	1,18	14	0,9-1,55
MW-Diff.	-0,12** (p=0,001)			-0,14** (p=0,004)			-0,11** (p=0,01)			-0,12** (p=0,005)		
Altersspezifische Werte												
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
<18	1,31	10	1,08-1,63	1,42	13	1,1-1,95	1,31	12	1,0-1,6	1,19	14	0,9-1,45
19-30	1,27	15	0,92-1,73	1,48	17	1,05-1,9	1,25	15	0,9-1,8	1,09	19	0,7-1,55
>30	1,21	16	0,9-1,62	1,40	16	1,0-1,9	1,19	21	0,7-1,7	1,03	17	0,75-1,4
Sig. (p)	0,129			0,373			0,086			0,000**		

MW, Mittelwert in mm; CV, Variationskoeffizient in %; MW-Diff., Mittelwertdifferenz in mm; hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet; Sig., Signifikanz der Mittelwertdifferenz

Tab. 20 Ergebnis des Post-Hoc-Tests zur Präzisierung der Untersuchung der Mittelwertdifferenzen der Dicke der Gingiva *libera* von Patienten unterschiedlicher Altersgruppen.

	øGDL	GDL1	GDL2	GDL3
<18 -- 19-30	0,03 (p=0,794)	-0,06 (p=0,639)	0,06 (p=0,374)	0,1 (p=0,094)
19-30 -- >30	0,07 (p=0,493)	0,08 (p=0,524)	0,06 (p=0,672)	0,06 (p=0,543)
>30 -- <18	-0,1 (p=0,128)	-0,02 (p=0,982)	-0,12 (p=0,117)	-0,16** (p=0,004)

Mittelwertdifferenzen in mm; hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet

In Tab. 17-20 sind die Ergebnisse der Analyse geschlechts- und altersspezifischer Unterschiede der Gingivadicke aufgeführt.

Geschlechtsbezogene Unterschiede der Dicke der Gingiva liegen sowohl für die Gingiva *fixa*, als auch für die Gingiva *libera* vor (siehe Tab. 17 und Tab. 19). An allen Messpunkten wurden für die männlichen Patienten durchschnittlich höhere Werte gemessen. Die Mittelwertdifferenz ist, außer am Messpunkt GDB2, an allen Messpunkten signifikant (Signifikanzniveau $p < 0,05$). Obwohl der maximale Wert bei einer weiblichen Patienten (GDB1) und der minimale Wert bei einem männlichen Patienten (GDB2) gemessen wurden, ist davon auszugehen, dass Männer im Allgemeinen eine dickere Gingiva *fixa* aufweisen als Frauen. Gleiches gilt für die Gingiva *libera*, obwohl auch hier die dickste Gingiva bei einer Frau gemessen wurde (GDL1).

Der Vergleich der Gingivadicke von Patienten unterschiedlichen Alters ergibt kein so eindeutiges Bild. Signifikant ist der Unterschied zwischen der durchschnittlichen Dicke der Gingiva *fixa* (øGDB) und der Dicke der Gingiva *fixa* an den Messpunkten GDB2 und GDB3 junger Patienten und Patienten mittleren Alters (siehe Tab. 18) (Signifikanzniveau $p < 0,05$). In Tab. 19 ist eine tendenzielle Abnahme der Dicke der Gingiva *libera* mit zunehmendem Alter zu erkennen. Eine Signifikanz der Mittelwertdifferenz liegt jedoch nur für den Messpunkt GDL3 vor. Tab. 20 ist weiter zu entnehmen, dass die Signifikanz nur für den Unterschied zwischen der Gingivadicke der jungen und alten Patienten vorliegt (Signifikanzniveau $p < 0,01$).

Ein Unterschied der Dicke der Gingiva von Männern und Frauen konnte signifikant nachgewiesen werden (Signifikanzniveau $p < 0,05$). Die Ergebnisse der altersbezogenen Untersuchung lassen eine Abnahme der Gingivadicke mit dem Alter zwar vermuten, bis auf einen Wert konnte dies jedoch nicht signifikant nachgewiesen werden.

6.5 Zusammenhänge zwischen Gingivadicke und parodontaler Morphologie

Zur Überprüfung von Zusammenhängen der untersuchten parodontalen Parameter wurden Korrelationsanalysen angewendet. Mithilfe des Pearson-Korrelationskoeffizienten wurde überprüft, ob lineare Zusammenhänge zwischen der Gingivadicke und den parodontalen Parametern nachweisbar sind. Die Ergebnisse der Analysen sind, sortiert nach Gingiva *fixa* und Gingiva *libera*, in je zwei Tabellen aufgeführt.

6.5.1 Breite der Gingiva

Tab. 21 Ergebnis der Korrelationsanalyse der Dicke der Gingiva *fixa* und der gingivalen Breite.

	ØBdG	BdG1	BdG2	BdG3
ØGDB	,072 (p=0,501)	,136 (p=0,205)	,073 (p=0,494)	-,003 (p=0,981)
GDB1	,202 (p=0,058)	,194 (p=0,068)	,166 (p=0,121)	,185 (p=0,082)
GDB2	,120 (p=0,265)	,161 (p=0,133)	,124 (p=0,250)	,049 (p=0,651)
GDB3	-,155 (p=0,146)	-,039 (p=0,714)	-,120 (p=0,262)	-,243* (p=0,022)

Pearson-Korrelationskoeffizient; signifikante Korrelationen mit * gekennzeichnet

In Tab. 21 sind die Zusammenhänge zwischen der Breite der Gingiva und der Dicke der Gingiva *fixa* in Form des Pearson-Korrelationskoeffizient dargestellt. Für die Mehrzahl der Wertepaare zeigt sich eine positive Korrelation. Lediglich die Dicke der Gingiva *fixa* an den Canini (GDB3) korreliert negativ mit der Gingivabreite an allen Messpunkten. Eine minimal negative Korrelation findet sich zudem zwischen der durchschnittliche Dicke der Gingiva *fixa* (ØGDB) und der Gingivabreite an den Canini (BdG3). Eine positive Korrelation der Messwerte der Gingivadicke und ihre Breite bedeutet, dass mit der Dicke der Gingiva die Gingivabreite zunimmt. Die Korrelationswerte sind nur gering abweichend von Null, lediglich die Korrelation des Wertepaars GDB3 – BdG3 ist signifikant (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Von einem Zusammenhang der Dicke der Gingiva fixa und der gingivalen Breite ist somit anhand des vorliegenden Ergebnisses nicht auszugehen.

Tab. 22 Ergebnis der Korrelationsanalyse der Dicke der Gingiva *libera* und der gingivalen Breite.

	ØBdG	BdG1	BdG2	BdG3
ØGDL	,502** (p=0,000)	,424** (p=0,000)	,469** (p=0,000)	,461** (p=0,000)
GDL1	,555** (p=0,000)	,474** (p=0,000)	,507** (p=0,000)	,516** (p=0,000)
GDL2	,366** (p=0,000)	,319** (p=0,002)	,383** (p=0,000)	,291** (p=0,006)
GDL3	,375** (p=0,000)	,301** (p=0,004)	,322** (p=0,002)	,383** (p=0,000)

Pearson-Korrelationskoeffizient; hochsignifikante Korrelationen mit ** gekennzeichnet

Die Überprüfung der Korrelation der gingivalen Breite mit der Dicke der Gingiva *libera* zeigt hochsignifikante Ergebnisse (Signifikanzniveau $p < 0,01$). Alle Messpunkte, sowie die Durchschnittswerte der Parameter zeigen eine leicht positive Korrelation (siehe Tab. 22).

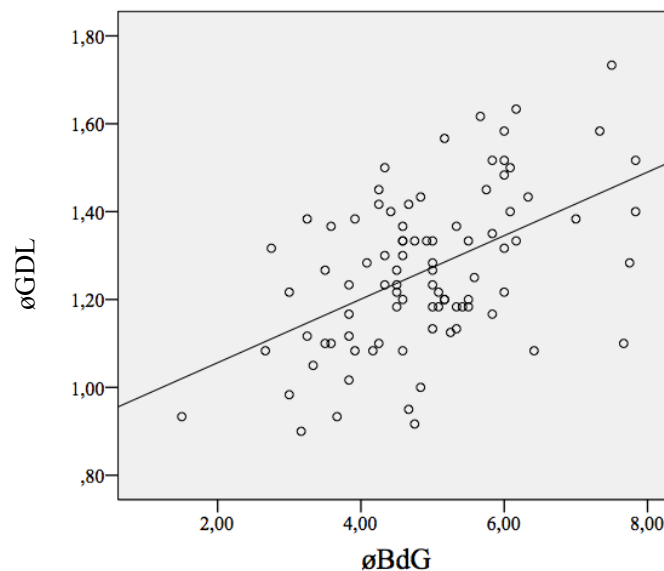


Abb. 27 Streudiagramm zur Darstellung des Zusammenhangs der ØGDL und der ØBdG.

Abb. 27 dient der Veranschaulichung der Aussage des Korrelationskoeffizienten. Jeder Punkt steht für einen Patientenfall. Die Gerade stellt den linearen Zusammenhang der beiden Parameter dar. Die Steilheit der Geraden drückt aus, wie stark die durchschnittliche Breite der Gingiva (ØBdG) mit dem Anstieg der durchschnittlichen Dicke der Gingiva *libera* (ØGDL) im Durchschnitt zunimmt. Der Korrelationskoeffizient $P = 0,502$ (siehe Tab. 22) wird durch die Streuung der Punkte im Diagramm dargestellt. Würden alle Messwerte annähernd auf der Geraden liegen, könnte man anhand der gingivalen Breite mit hoher Sicherheit auf die Dicke der Gingiva *libera* schließen. Die Streuung der Punkte veranschaulicht jedoch, dass die gefundene Tendenz, dass Patienten mit dicker Gingiva eine breitere Gingiva aufweisen als

Patienten mit dünner Gingiva, keiner Gesetzmäßigkeit gleichkommt. Die hohe Signifikanz der gefundenen Ergebnisse bestätigt, dass die vorliegende Relation der Parameter für die Grundgesamtheit repräsentativ ist.

Von einem Zusammenhang der Gingivadicke mit ihrer Breite ist anhand der gefundenen Ergebnisse nicht auszugehen.

6.5.2 Gingivale Architektur

Tab. 23 Ergebnis der Korrelationsanalyse der Dicke der Gingiva *fixa* und der Papillenhöhe.

	ØPH	PH1	PH2	PH3
ØGDB	-,024 (p=0,825)	,001 (p=0,993)	,001 (p=0,989)	-,049 (p=0,652)
GDB1	-,021 (p=0,847)	-,071 (p=0,510)	-,044 (p=0,684)	,040 (p=0,712)
GDB2	-,014 (p=0,894)	,014 (p=0,894)	-,004 (p=0,968)	-,032 (p=0,768)
GDB3	-,020 (p=0,850)	,058 (p=0,589)	,053 (p=0,625)	-,123 (p=0,256)

Pearson-Korrelationskoeffizient

In Tab. 23 ist das Ergebnis der Korrelationsanalyse der Papillenhöhe und der Dicke der Gingiva *fixa* aufgeführt. Der Korrelationskoeffizienten eines jeden Wertepaares ist nur gering von Null abweichenden, es liegt keine Signifikanz vor (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

*Anhand dieses Ergebnisses ist ein Zusammenhang zwischen der Dicke der Gingiva *fixa* und der Papillenhöhe auszuschließen.*

Das Ergebnis der Korrelationsanalyse der Dicke der Gingiva *libera* und der Papillenhöhe, das in Tab. 24 dargestellt ist, ist in Übereinstimmung mit dem in Tab. 23 aufgeführten Ergebnis.

Tab. 24 Ergebnis der Korrelationsanalyse der Dicke der Gingiva *libera* und der Papillenhöhe.

	ØPH	PH1	PH2	PH3
ØGDL	-,029 (p=0,789)	,011 (p=0,920)	-,002 (p=0,983)	-,065 (p=0,547)
GDL1	,057 (p=0,593)	,023 (p=0,831)	,051 (p=0,634)	,073 (p=0,500)
GDL2	-,039 (p=0,715)	,003 (p=0,975)	-,011 (p=0,917)	-,080 (p=0,464)
GDL3	-,103 (p=0,338)	-,001 (p=0,996)	-,052 (p=0,632)	-,182 (p=0,091)

Pearson Korrelationskoeffizient

Die berechneten Korrelationskoeffizienten sind sehr niedrig, was bedeutet, dass man die Dicke der Gingiva *libera* nicht mithilfe der Papillenhöhe erklären kann. Es liegt keine Signifikanz der berechneten Korrelationskoeffizienten vor (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Ein Zusammenhang zwischen der Ausformung des Gingivasaums und der Gingivadicke ist anhand der vorliegenden Ergebnisse auszuschließen.

6.5.3 Zahnform

Aus den in Absatz 6.4.3.1 erläuterten Gründen, wird für den Vergleich der Zahnform mit der Gingivadicke die Form der mittleren Incisivi als Richtwert verwendet.

Tab. 25 Ergebnis der Korrelationsanalyse der Dicke der Gingiva und der Zahnform.

	ZF1		ZF1
ØGDB	,192 (p=0,071)	ØGDL	,171 (p=0,109)
GDB1	,152 (p=0,155)	GDL1	,149 (p=0,164)
GDB2	,214* (p=0,045)	GDL2	,118 (p=0,273)
GDB3	,087 (p=0,418)	GDL3	,190 (p=0,074)

Pearson-Korrelationskoeffizient; signifikante Korrelationen mit * gekennzeichnet

Tab. 25 ist das Ergebnis der Korrelationsanalyse der Zahnform der mittleren Incisivi und der Gingivadicke, sortiert nach Gingiva *fixa* und Gingiva *libera* zu entnehmen. Die Korrelationskoeffizienten sind niedrig, eine Signifikanz des Ergebnisses liegt nur für das Wertepaar ZF1 – GDB2 vor (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Von einem Zusammenhang zwischen der Zahnform und der Dicke der Gingiva kann anhand dieses Ergebnisses nicht ausgegangen werden.

Um den Zusammenhang zwischen der Gingivadicke und der Zahnform detaillierter zu untersuchen, wurde eine weitere Analyse durchgeführt. Die Patienten mit den 10 länglichsten und den 10 quadratischsten Zähnen wurden aus dem Kollektiv gefiltert und in zwei Gruppen eingeteilt. Diese Methode der Einteilung wurde angewendet, um eine möglichst objektive Beurteilung der Zahnform zu gewährleisten, da es schwierig ist anhand eines bestimmten Zahlenwertes eine Grenze zwischen quadratischen und länglichen Zähnen zu ziehen.

Tab. 26 Ergebnis der Analyse zahnformabhängiger Unterschiede der Gingivadicke aufgeteilt nach Dicke der Gingiva *fixa* und Dicke der Gingiva *libera*.

	øGDB			GDB1			GDB2			GDB3		
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
quadr.	0,85	13	0,68-1,02	0,98	12	0,75-1,15	0,81	15	0,6-1,0	0,78	30	0,45-1,15
länglich	0,73	16	0,55-0,98	0,91	24	0,6-1,45	0,62	17	0,45-0,8	0,68	15	0,55-0,85
MW-Diff.	0,12* (p=0,027)			0,07 (p=0,391)			0,2** (p=0,001)			0,11 (p=0,215)		
	øGDL			GDL1			GDL2			GDL3		
	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
quadr.	1,3	16	0,9-1,58	1,48	17	1,05-1,85	1,27	21	0,7-1,6	1,16	16	0,9-1,5
länglich	1,2	12	0,92-1,38	1,42	15	1,05-1,7	1,16	15	0,9-1,45	1,02	11	0,8-1,15
MW-Diff.	0,1 (p=0,234)			0,06 (p=0,578)			0,11 (p=0,295)			0,14 (p=0,054)		

MW, Mittelwert des Kronenbreitenlängenverhältnisses; CV, Variationskoeffizient in %; MW-Diff., Mittelwertdifferenz; signifikante Ergebnisse mit *, hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet

Anhand des in Tab. 26 dargestellten Vergleichs sollte überprüft werden, ob ein signifikanter Unterschied besteht zwischen der Gingivadicke von Patienten mit länglichen Zähnen und der von Patienten mit quadratischen Zähnen.

Tab. 26 ist zu entnehmen, dass die durchschnittliche Dicke der Gingiva *fixa* (øGDB) und die der Gingiva *libera* (øGDL) der Patienten mit länglichen Zähnen im Durchschnitt unter der Gingivadicke der Patienten mit quadratischen Zähnen liegt.

Ein solcher Unterschied wurde an allen Messpunkten beobachtet. Signifikanz der Mittelwertdifferenzen liegt jedoch nur für das Wertepaar øGDB - GDB2 vor (Signifikanzniveau $p < 0,05$). Die Boxplottdiagramme (Abb. 28 und Abb. 29) sollen dem Verständnis weiterer Erläuterungen dienen.

Abb. 28 und Abb. 29 zeigen die Messwerte der Gingiva *fixa* und der Gingiva *libera*. Die Begrenzungen eines Boxplots entsprechen dem 25%- und dem 75%- Perzentil, die Linie innerhalb eines Boxplots markiert den Median. Ausreißer sind als Punkte dargestellt, Extremwerte als Stern. Die Querstriche ober- und unterhalb der Boxplots markieren die Extrema, die noch nicht als Ausreißer gelten.

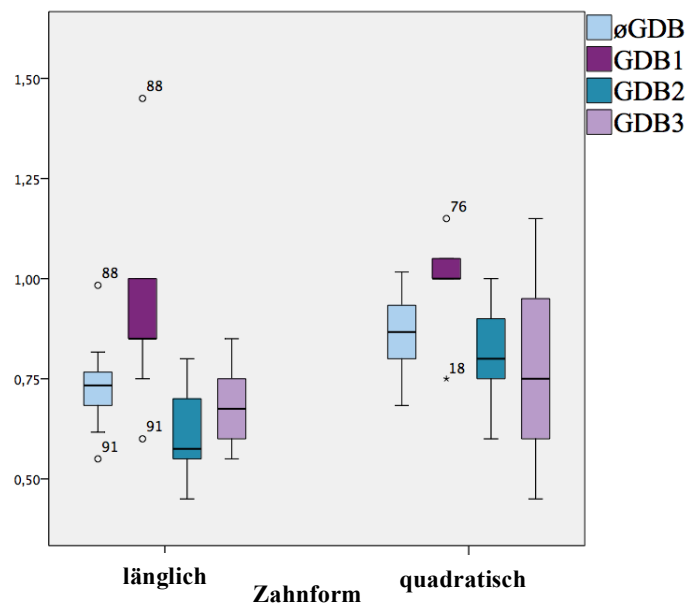


Abb. 28 Darstellung der Dicke der Gingiva *fixa*, sortiert nach der Zahnform.

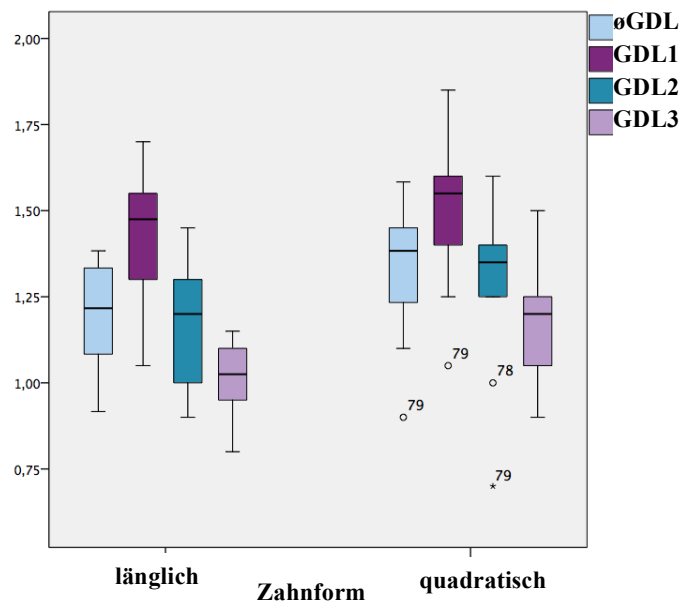


Abb. 29 Darstellung der Dicke der Gingiva *libera*, sortiert nach der Zahnform.

Eine große Streuung der gemessenen Werte ist in beiden Abbildungen zu erkennen. Die größte Streuung findet sich für den Messpunkt GDB3 der Patienten mit quadratischen Zähnen. Tab. 26 ist für diesen Messpunkt mit 30% der höchste Variationskoeffizient zu

entnehmen. Die kleinste Streuung weisen die Werte am Messpunkt GDB1 von Patienten mit quadratischen Zähnen und die Werte für die Messpunkte øGDL und GDL3 von Patienten mit länglichen Zähnen auf. Auffällig ist die Anzahl der Ausreißer in Anbetracht dessen, dass eine Gruppe nur zehn Patienten umfasst. Dies zeigt, dass innerhalb der zwei Gruppen deutliche personenbezogene Unterschiede der Gingivadicke vorliegen. Auch die Extrema stimmen nicht an allen Messpunkten mit dem Ergebnis des Mittelwertvergleichs überein, laut dem Patienten mit quadratischen Zähnen eine dickere Gingiva aufweisen. An den mittleren Incisivi wurde der maximale Wert bei einem Patienten mit länglichen Zähnen gemessen und an den Canini der geringste Wert bei einem Patienten mit quadratischen Zähnen. Die durchschnittlich dünnste Gingiva *libera* wurde bei Patienten mit quadratischen Zähnen gemessen.

Die gefundenen Ergebnisse zeigen deutlich, dass es nicht möglich ist von der Zahnform auf die Gingivadicke rückzuschließen.

6.6 Zusammenhang zwischen Sondentransluzenz und Gingivadicke

Um zu analysieren wie valide die Bestimmung der Dicke der Gingiva durch die Beurteilung ihrer Transparenz ist (siehe Absatz 4.1.2), wurde zunächst der T-Wert für jeden Patienten berechnet. Dieser soll, wie in Absatz 5.2.3.5 beschrieben, mit der Gingivadicke korrelieren. Anhand der drei möglichen Werte wurden die Patienten in Gruppen eingeteilt.

Tab. 27 Ergebnis des Vergleichs der Gingivadicke (GDB) von Patienten mit unterschiedlichem T-Wert.

	øGDB			GDB1			GDB2			GDB3		
T-Wert	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
0	0,78	17	0,52-1,03	0,87	21	0,6-1,45	0,73	20	0,45-0,95	0,73	22	0,45-1,15
1	0,77	16	0,58-1,0	0,9	20	0,65-1,35	0,72	22	0,45-1,0	0,69	21	0,5-1,0
2	0,86	17	0,55-1,23	0,95	17	0,6-1,4	0,84	26	0,4-1,35	0,80	25	0,45-1,3
Sig. (p)	0,019*			0,197			0,021*			0,06		

MW, Mittelwert in mm; CV, Variationskoeffizient in %; signifikante Ergebnisse mit * gekennzeichnet

Tab. 27 stellt den Vergleich der Dicke der Gingiva *fixa* zwischen den drei Gruppen dar. Bei Patienten mit T-Wert 2 wurde im Durchschnitt an allen Messpunkten die dickste Gingiva *fixa* gemessen. Der maximale Wert für die Gingiva *fixa* an den mittleren Incisivi (GDB1) fand

sich jedoch bei einem Patienten mit T-Wert 0. Zur Veranschaulichung des Ergebnisses wurde ein Boxplot-Diagramm gezeichnet.

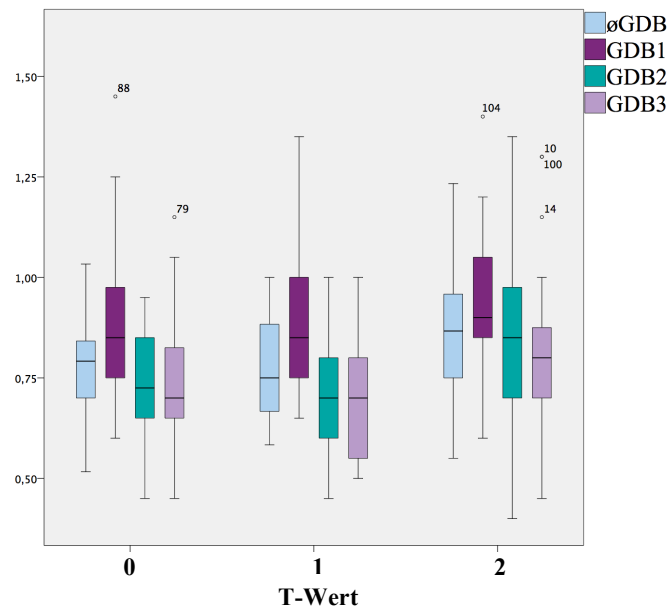


Abb. 30 Darstellung der Dicke der Gingiva *fixa* von Patienten mit unterschiedlichem T-Wert.

In Abb. 30 kann man die große Streuung der Messwerte innerhalb der Gruppen erkennen. Die größte Streuung der Messwerte liegt bei Patienten mit T-Wert 2 an den seitlichen Incisivi vor. Ein deutlicher Unterschied der Dicke der Gingiva *fixa* zwischen den drei Gruppen ist dem Diagramm nicht zu entnehmen. Dem Ergebnis des Post-hoc Tests (siehe Tab. 28) ist zu entnehmen, dass die durchschnittliche Differenz der Dicke der Gingiva *fixa* an allen Messpunkten zwischen den Gruppen gering ist. Lediglich die durchschnittliche Dicke der Gingiva *fixa* (øGDB) von Patienten mit T-Wert 1 und T-Wert 2 unterscheidet sich signifikant um weniger als einen zehntel Millimeter (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

Tab. 28 Ergebnis des Post-hoc-Tests zum Vergleich der Gingivadicke (GDB) von Patienten mit unterschiedlichem T-Wert.

T-Wert	øGDB	GDB1	GDB2	GDB3
0/1	0,01 ($p = 0,995$)	-0,04 ($p = 0,844$)	0,01 ($p = 0,976$)	0,04 ($p = 0,662$)
1/2	-0,09* ($p = 0,039$)	-0,05 ($p = 0,65$)	-0,12 ($p = 0,053$)	-0,11 ($p = 0,06$)
2/0	0,08 ($p = 0,072$)	0,08 ($p = 0,212$)	0,1 ($p = 0,098$)	0,06 ($p = 0,461$)

Mittelwertdifferenz in mm; signifikante Ergebnisse mit * gekennzeichnet

Tab. 29 zeigt das Ergebnis des Vergleichs der Dicke der Gingiva *libera* von Patienten mit unterschiedlicher Gingivatransparenz. An allen Messpunkten ist die Gingiva *libera* bei Patienten mit T-Wert 2 am dicksten. Die Differenz der Mittelwerte ist hochsignifikant (Signifikanzniveau $p < 0,001$). Die dickste Gingiva *libera* wurde an jedem Messpunkt bei einem Patienten mit T-Wert 2 gemessen, die dünnste bei einem Patienten mit T-Wert 0.

Tab. 29 Ergebnis des Vergleichs der Gingivadicke (GDL) von Patienten mit unterschiedlichem T-Wert.

	øGDL			GDL1			GDL2			GDL3		
T-Wert	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema	MW	CV	Extrema
0	1,17	12	0,9-1,33	1,3	14	1,0-1,7	1,15	15	0,7-1,45	1,05	16	0,7-1,3
1	1,23	12	0,93-1,5	1,43	12	1,05-1,85	1,21	14	0,9-1,55	1,06	17	0,75-1,4
2	1,39	12	1,1-1,73	1,58	13	1,2-1,95	1,39	13	1,0-1,8	1,21	16	0,9-1,55
Sig. (p)	0,000**			0,000**			0,000**			0,001**		

MW, Mittelwert in mm; CV, Variationskoeffizient in %; hochsignifikante Ergebnisse mit ** gekennzeichnet

Das Boxplottdiagramm (Abb. 31) spiegelt das zuvor erläuterte Ergebnis wider. Ein deutlicher Unterschied der Gingivadicke, welche durch die Boxplots dargestellt wird, ist vor allem zwischen Patienten mit T-Wert 0 und Patienten mit T-Wert 2 erkennbar.

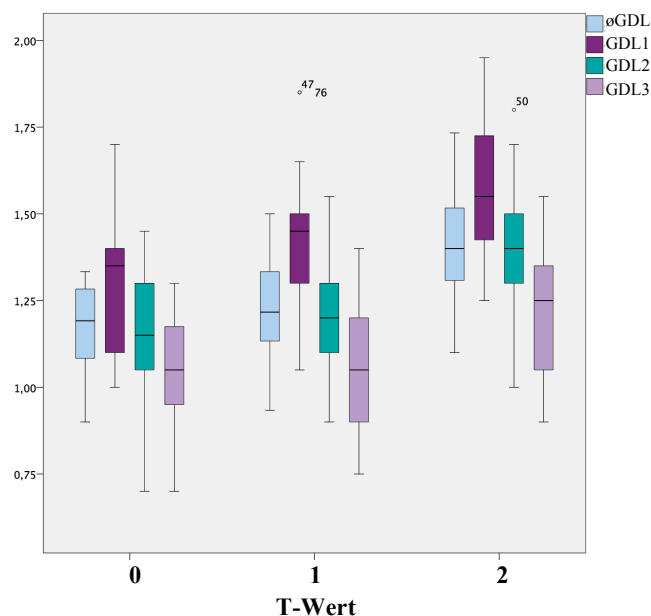


Abb. 31 Darstellung der Dicke der Gingiva *libera* von Patienten mit unterschiedlichem T-Wert.

Tab. 30 ist zu entnehmen, dass die Gingiva *libera* an allen Messpunkten signifikant dicker ist bei Patienten mit T-Wert 2 als bei den übrigen Patienten.

Tab. 30 Ergebnis des Post-hoc-Tests zum Vergleich der Gingivadicke (GDL) von Patienten mit unterschiedlichem T-Wert.

T-Wert	øGDL	GDL1	GDL2	GDL3
0/1	-0,06 (p = 0,256)	-0,12* (p = 0,04)	-0,06 (p = 0,468)	-0,01 (p = 0,996)
1/2	-0,16** (p = 0,001)	-0,15** (p = 0,01)	-0,18** (p = 0,001)	-0,16** (p = 0,005)
2/0	0,22** (p = 0,000)	0,27** (p = 0,000)	0,24** (p = 0,000)	0,16** (p = 0,002)

Signifikante Ergebnisse mit *, hochsignifikante Werte mit ** gekennzeichnet

Die gefundenen Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass es möglich ist die Dicke der Gingiva libera durch die Beurteilung der Gingivatransparenz abzuschätzen. Eine sehr dicke Gingiva lässt sich mit hoher Sicherheit identifizieren. Der Unterschied zwischen einer sehr dünnen und einer mäßig dicken Gingiva ist jedoch schwierig zu beurteilen. Die Transparenz der Gingiva lässt wenig Rückschluss auf die Dicke der Gingiva fixa zu.

Um zu analysieren wie häufig die Gingivadicke anhand der Transparenz der Gingiva falsch beurteilt wurde, wurden Kreuztabellen erstellt. Die Patienten wurden dafür anhand der durchschnittlichen Dicke der Gingiva *fixa* (øGDB) und der Dicke der Gingiva *libera* (øGDL) in je drei Gruppen eingeteilt.

Tab. 31 Einteilung des Patientenkollektivs nach der Gingivadicke (GDB) und dem T-Wert.

T-Wert	Gruppeneinteilung nach øGDB		
	00 (bis 0,75mm GDB)	01	02 (ab 0,95mm GDB)
0	11 (30,6%)	14 (36,8%)	3 (20%)
1	15 (41,7%)	10 (26,3%)	4 (26,7%)
2	10 (27,8 %)	14 (36,8%)	8 (53,3%)

Übereinstimmung der GDB mit dem T-Wert grün hinterlegt; gravierender Fehler der Beurteilung der GDB rot hinterlegt

Tab. 31 und Tab. 32 stellen den Vergleich der tatsächlich gemessenen Gingivadicke mit dem T-Wert dar. Die Übereinstimmungen sind grün hinterlegt. Aufgrund des in der Einleitung erläuterten Einflusses der Dicke der Gingiva auf die Therapieplanung, wird die fehlerhafte Einschätzung einer dünnen Gingiva als schwerwiegender Fehler angesehen. Der Wert, der angibt mit welcher Häufigkeit eine dünne Gingiva anhand der Gingivatransparenz als „dick“ beurteilt wurde, ist deshalb rot in den Tabellen markiert.

Tab. 31 ist zu entnehmen, dass zwar in 30% der Fälle eine dünne Gingiva fixa als solche erkannt wurde, in 27,8% der Fälle jedoch eine vollkommen falsche Einschätzung der Gingivadicke vorlag.

Eine dicke Gingiva wurde in mehr als 50% der Fälle erkannt. Die Beurteilung der Dicke der Gingiva libera zeigt eine geringere Fehlerwahrscheinlichkeit. Eine dünne Gingiva libera wurde in 45,7% der Fälle erkannt, zu einer deutlichen Fehleinschätzung kam es jedoch immer noch in 17,7% der Fälle. Eine dicke Gingiva wurde in 78,9% der Fälle erkannt (siehe Tab. 32). Die Ergebnisse aus Tab. 31 und Tab. 32 sind in Übereinstimmung mit den zuvor gefundenen Ergebnissen.

Eine Beurteilung der Dicke der Gingiva anhand ihrer Transparenz ist somit nachweislich fehlerbehaftet.

Tab. 32 Einteilung des Patientenkollektivs nach der Gingivadicke (GDL) und dem T-Wert.

	Gruppeneinteilung nach øGDL		
T-Wert	0 (bis 1,2mm GDL)	1	2 (ab 1,45mm GDL)
0	16 (45,7%)	12 (36,8%)	0 (0%)
1	13 (37,1%)	13 (32,5%)	3 (21,4%)
2	6 (17,1%)	15 (37,5%)	11 (78,6%)

Übereinstimmung der GDL mit dem T-Wert grün hinterlegt; gravierender Fehler der Beurteilung der GDL rot hinterlegt

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Methode

7.1.1 Patientenselektion

Bei der Auswahl der Patienten wurde besonders darauf Wert gelegt, dass die Messdaten der Gingivadicke durch keine äußeren Einflüsse manipuliert wurden. Die Ausschlusskriterien wurden dementsprechend streng definiert, dies ist in Übereinstimmung mit bisherigen Studien geschehen. Lediglich in einer der in Tab. 1 aufgeführten Studien wurden keine derartigen Ausschlusskriterien definiert [Olsson et al. 1993]. Das Patientenkollektiv wurde zusätzlich, vor der Auswertung der Daten, auf Konstanz überprüft. Der Einfluss der aktuellen Mundhygienesituation und des Wertes für den Blutungsindex auf die Gingivadicke wurden kritisch hinterfragt. Eine Beurteilung nicht sichtbarer, entzündlicher Veränderungen und die Überprüfung des Patientenkollektivs hinsichtlich der aktuellen Mundhygienesituation wurden in keiner der in Tab. 1 aufgeführten Studien durchgeführt. In dieser Studie flossen nur Daten von Patienten in die Auswertung ein, bei denen äußere Einflüsse auf die Dicke der Gingiva ausgeschlossen werden konnten. Damit ist davon auszugehen, dass die Differenzen der patientenbezogenen Messwerte durch natürlich vorkommende, interindividuelle Unterschiede begründet sind.

Bezüglich des Geschlechts wurde ein gemischtes Patientenkollektiv gewählt, dies ermöglicht den gewünschten geschlechtsbezogenen Vergleich. Es wurde zudem intentioniert Patienten unterschiedlichen Alters miteinander zu vergleichen. Im Rahmen der Überprüfung von morphologischen Zusammenhängen in der Oberkieferfrontzahnregion wurde in bisherigen Studien darauf verzichtet sehr junge Patienten in die Untersuchung mit einzubeziehen. Auch ältere Patienten wurden nur von de Rouck et al. (2009) und Stein et al. (2013) in die Untersuchung einbezogen. Die Mehrzahl der Studien wurde an Patienten mittleren Alters durchgeführt. Es wurde auf eine zwischen den Altersgruppen gleichmäßige Verteilung von männlichen und weiblichen Probanden geachtet, um im Altersvergleich eine geschlechtsbedingte Beeinflussung der Ergebnisse zu verhindern. Der Anteil an weiblichen Patienten lag jeweils zwischen 57% und 67% und der Anteil männlicher Patienten zwischen 33% und 43%.

7.1.2 Methoden zur Beurteilung der Morphologie der Oberkieferfrontzahnregion

Ziel der Studie war es, unter anderem, zu überprüfen ob es möglich ist anhand der parodontalen Morphologie Rückschlüsse auf die Gingivadicke des Patienten zu ziehen. Es wurden dafür drei Parameter gewählt, die im klinischen Alltag eine Beurteilung ohne großen apparativen Aufwand zulassen. Die Breite der Gingiva, die Ausformung der Gingiva und die Zahnform wurden als Parameter ausgewählt, da durch sie die Morphologie der ästhetischen Zone in ihrer Gesamtheit beschrieben wird. Da die Messmethode für die Bestimmung der gingivalen Ausformung und der Zahnform nach Olsson et al. (1993) als aussagekräftig angesehen wird, wurde sie für diese Arbeit übernommen. Dies ermöglicht zudem eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit bisherigen Studien, in denen die Methode nach Olsson et al. ebenfalls zur Anwendung kam. Die visuelle Bestimmung der mukogingivalen Grenze ermöglicht eine schnelle und für den Patienten angenehme Messung der Breite der Gingiva. Die Methode erwies sich als komplikationslos.

7.1.3 Methoden zur Beurteilung der Gingivadicke

Die Gingivadicke stellt das zentrale Thema dieser Studie dar. Aufgrund der klinischen Relevanz steht sie seit Langem im Fokus der Forschung. Wie bereits erläutert (siehe Absatz 1), ist die Dicke der Gingiva das ausschlaggebende Kriterium für viele Therapieentscheidungen. Vor allem in der Parodontologie und der Implantologie muss sich der Behandler intensiv mit dem Weichgewebeangebot auseinandersetzen, bevor er sich für eine Vorgehensweise entscheidet. Bislang ist es dennoch nicht gelungen ein alltagstaugliches, schmerzfreies, wenig zeitintensives Verfahren zur Beurteilung der Gingivadicke zu etablieren. Während die Ausformung des Gingivasaums und die Breite der Gingiva im klinischen Alltag einfach visuell zu bestimmen sind, stellt sich die Beurteilung der Gingivadicke als komplizierter dar.

In Absatz 4 wurden bereits diverse, in der Literatur beschriebene, Verfahren zur Beurteilung der Dicke der Gingiva erläutert. Die Verfahren sind nach ihrer Invasivität eingeteilt in zwei Gruppen. Grundsätzlich stellt sich bei jedem Diagnoseverfahren die Frage nach dem Nutzen-Risiko-Profil. Ziel einer jeden Untersuchung ist ferner die minimale Gefährdung des Patienten bei maximalem Informationsgewinn. Zur Messung der Gingivadicke werden zwei invasive Messverfahren beschrieben. Die direkte Messung der Dicke der Gingiva mit einer Schieblehre

nach Bildung eines Mukoperiostlappens, kommt aufgrund der Invasivität des Verfahren nur dann als Möglichkeit infrage, wenn ein chirurgischer Eingriff aufgrund anderer Indikationen sowieso notwendig ist. Eine weitere invasive Messmethode, das transgingivale Sondieren, wurden von Olsson et al. (1993) und Stellini et al. (2013) hinsichtlich der Untersuchung von Zusammenhängen parodontaler Parameter angewandt. In der Literatur werden diverse Abwandlungen des Verfahrens beschrieben, die denselben Grundgedanken verfolgen: die Gingivadicke wird anhand der Eindringtiefe eines spitzen Instrumentes bestimmt. Das Messverfahren liefert, je nach Versuchsaufbau, Ergebnisse mit einer Genauigkeit von einem zehntel mm [Grosse 1976] bis 1 mm [Claffey et Shanley 1986]. Es ist jedoch unangenehm für den Patienten, weshalb eine vorherige Anästhesie der Gingiva vorgeschlagen wurde [Studer et al. 1997]. Das Verfahren kann bei einem genauen Versuchsaufbau gute Ergebnisse liefern, ist jedoch, bezüglich der Invasivität als prätherapeutische Untersuchungsmaßnahme, kritisch zu betrachten.

Non-invasive Verfahren variieren stark in ihrer Aussagekraft. Die rein visuelle Beurteilung der Gingiva ist nachweislich nicht aussagekräftig genug [Cuny-Houchmand et al. 2013]. In der von Eghbali et al. (2009) durchgeführten Studie führte sie in nahezu 50% der Fälle zum Nichterkennen einer dünnen Gingiva. Eine dicke Gingiva wurde weit häufiger richtig diagnostiziert ($\geq 70\%$) [Eghbali et al. 2009].

In der Medizin wird die Validität einer Messmethode über die Sensitivität und die Spezifität ausgedrückt. Je höher die Sensitivität, umso wahrscheinlicher werden Risikopatienten als solche erkannt (richtig positives Ergebnis). Je höher die Spezifität, umso wahrscheinlicher kommt ein richtig negatives Ergebnis zustande. Betrachtet man diesbezüglich einen Patienten mit dünner Gingiva als Risikopatienten, so wird deutlich, dass die visuelle Bestimmung der Gingivadicke, nach den Ergebnissen von Eghbali et al. (2009), trotz einer recht hohen Spezifität eine geringe Sensitivität aufweist. Das Nichterkennen eines Risikopatienten mit dünner Gingiva stellt jedoch einen gravierenderen Fehler dar.

Die visuelle Beurteilung der Gingivadicke soll durch das Einführen einer Parodontalsonde in den Sulkus verbessert werden. Beurteilt wird die Transparenz der Gingiva, also das Durchscheinen der Sonde durch die Gingiva. Da dieses Verfahren relativ schmerzarm und unter klinischen Bedingungen einfach durchzuführen ist, wurde es in mehreren Studien zur Beurteilung der Gingivadicke angewendet [De Rouck et al. 2009; Anand et al. 2012; Fischer et al. 2013; Malhotra et al. 2014]. Aus demselben Grund sollte es in dieser Studie auf seine Validität hin überprüft werden. Die Aussagekraft der Gingivatransparenz ist, vor allem bezüglich der Dicke der Gingiva *fixa*, ungenügend. Nur in 30,6% der Fälle wurde eine dünne

Gingiva erkannt, in 27,8% kam es zu einer gravierenden Fehleinschätzung, anhand der Gingivatransparenz wurde auf eine dicke Gingiva geschlossen, obwohl tatsächlich eine dünne Gingiva vorlag (siehe Tab. 31). Doch auch die Übereinstimmung mit der tatsächlichen Dicke der Gingiva *libera* erwies sich als unzureichend (siehe Tab. 32). Eine dünne Gingiva *libera* wurde häufiger erkannt (45,7%) als eine dünne Gingiva *fixa*, zu einer gravierenden Fehleinschätzung kam es dennoch in 17,1% der Fälle. Ähnlich der Ergebnisse von Eghbali et al. (2009) bezüglich der rein visuellen Inspektion, wurden auch bei diesem Diagnoseverfahren die Mehrzahl der Patienten mit dicker Gingiva richtig eingeschätzt (53,3% GDB, 78,6% GDL).

Es lässt sich schlussfolgern, dass eine rein visuelle Beurteilung der Gingivadicke mit oder ohne Hilfsmittel keine ausreichende Validität besitzt.

Zu den nicht-invasiven Diagnoseverfahren werden zwei röntgenologische Verfahren gezählt. Das von Alpiste-Illueca (2004) vorgeschlagene Verfahren, bei dem die Gingivadicke an einem in Paralleltechnik aufgenommenen Röntgenbild gemessen wird, wurde von Stein et al. (2013) angewendet. Das zweite Verfahren, bei dem eine DVT-Aufnahme ausgewertet wird, fand im Zusammenhang mit Untersuchungen der gingivalen Morphologie noch keine Anwendung. Bezüglich des Nutzen-Risiko-Profiles sollte bei beiden Verfahren der strahlenschutztechnische Aspekt unbedingt berücksichtigt werden. Im direkten Vergleich liefert das DVT-Verfahren außerdem mehr Zusatzinformation als die konventionell Röntgentechnik. Bezüglich der Weichgewebe wird desweiteren die gesamte Gingiva der Oberkieferfront untersucht, wohingegen mit der Standardröntgentechnik pro Aufnahme nur ein einzelner Zahn betrachtet werden kann. Gleichzeitig ist die Strahlenbelastung eines DVT höher als die einer Röntgenaufnahme in Paralleltechnik [Kiefer et al. 2004; Ludlow et al. 2006]. In beiden Fällen ist anzuzweifeln, ob die Strahlenexposition des Patienten durch den Informationsgewinn gerechtfertigt ist. Im Zusammenhang mit einer prätherapeutischen Diagnostik mögen beide Verfahren akzeptabel sein. Vor Anfertigung einer DVT-Aufnahme sollte jedoch eruiert werden, ob weitere Informationen, wie zum Beispiel Informationen zu den Knochenverhältnissen (präimplantologische Diagnostik), anhand der Aufnahme gewonnen werden sollen. Die Rechtfertigung einer Strahlenexposition des Patienten, allein zur Erforschung parodontaler Biotypen, ist als nicht gerechtfertigt anzusehen. Abgesehen von der Strahlenbelastung, müssen auch die Messergebnisse kritisch betrachtet werden. Die digitale Volumentomographie dient vorrangig der Hartgewebsdiagnostik, die Genauigkeit der Messungen der Gingivadicke anhand des Verfahrens ist nicht nachgewiesen. Das Röntgenmessverfahren ist sehr fehlersensitiv [Rossell et al. 2015]: die Röntgenröhre und der

Film müssen äußerst exakt positioniert werden, um Überlagerungen zu vermeiden. Beide Verfahren sind somit wenig praktikabel im klinischen Alltag und stellen eine verhältnismäßig hohe Belastung für den Patienten dar.

Ein diagnostisches Mittel, welches eine Darstellung des Körperinneren ohne Belastung des Patienten ermöglicht, ist die Sonographie. Im Kopf-Hals-Bereich wird die Sonographie bislang vor allem zur Lymphknoten- und Speicheldrüsendiagnostik eingesetzt. Die Anwendung des A-Mode Verfahrens zur Kieferhöhlendiagnostik beschränkt sich heute auf Kinder und Schwangere. Die Farbduplexsonographie wird angewandt, um beispielsweise die Durchblutung eines Hautareals (Hautperforatoren) zu überprüfen, an dem ein mikrovaskulär rekonstruktiver Eingriff geplant ist [Reinert 2000]. Aufgrund des geringen Risikos der Untersuchungsmethode bei gleichzeitig hohem Informationsgehalt, wird die Sonographie seit Langem schon zur Messung der Gingivadicke angewandt. Tomlin et Wilson konstruierten 1968 erstmalig ein Ultraschallgerät zur Messung der Dicke der Gingiva [Tomlin et Wilson 1968]. Das erste kommerzielle Gerät, welches speziell für diesen Zweck auf den Markt gebracht wurde, stammt von der Firma Krupp®. Das Gerät wurde in diversen Studien zur sonographischen Messung der Gingivadicke verwendet [Eger et al. 1996; Müller et al. 2000b; Cha et al. 2008; Chou et al. 2008]. Eger et al. (1996) bewerteten die Validität der Messung mit dem Ultraschallgerät SDM®, die sie mithilfe von Versuchen am Schweinekiefer analysierten, als sehr gut. Sowohl das von Tomlin et Wilson konstruierte Gerät als auch das SDM® verwenden die A-Mode Technik. Die A-Mode Technik ermöglicht Distanzmessungen, jedoch keine bildhafte Darstellung der geschallten Region. Die Ultraschallsonde sendet einen Impuls, der an einer Grenzfläche teilweise oder bei hohen Impedanzunterschieden vollständig, reflektiert wird. Die Sonde dient gleichzeitig als Detektor des reflektierten Impulses [Delorme et al. 2012]. Die Laufzeit des Impulses wird beim SDM® automatisch umgerechnet in die Distanz von der Sonde zur untersuchten Grenzfläche, in diesem Fall die Oberfläche des Alveolarknochens. Das Gerät weist eine Auflösung von 0,1 mm auf und kann Distanzen zwischen 0,3 mm und 8 mm messen [Eger et al. 1996]. Als problematisch stellt sich die Kontrolle der korrekten Positionierung dar. Aus der Messtechnik ergibt sich, dass eine präzise Messung der Gingivadicke nur möglich ist, wenn die Sonde rechtwinklig zur Knochenoberfläche positioniert wird. Da jedoch die Knochenoberfläche nicht dargestellt werden kann, ist eine Überprüfung der korrekten Positionierung nicht möglich. Zwar weist die Sonde mit einem Durchmesser von 3 mm [Eger et al. 1996] eine für die intraorale Anwendung geeignete Größe auf, die Kontrolle der korrekten Positionierung der Sonde ist jedoch in schlecht zugänglichen Regionen der Mundhöhle, wie dem Vestibulum

der Molarenregion, erschwert. Die Positionierung rechtwinklig zur Knochenoberfläche sollte zudem, trotz des geringen Durchmessers, am stark gewölbten Gaumen schwierig sein. Ebenso können Unebenheiten des Knochens das Ergebnis verfälschen, lokalisierte Prominenzen des Knochens können nicht erfasst werden. Die Messung der Dicke der Gingiva beschränkt sich auf genau den Punkt der geschallt wird. Der Verlauf des Knochens unterhalb der Gingiva lässt sich nicht darstellen. Vermutlich aufgrund der begrenzten Anwendungsmöglichkeit des Ultraschallgeräts SDM® der Firma Krupp® wurde es vom Markt genommen. Die neueste Entwicklung im Bereich der Gingivadickenmessung mithilfe der A-Mode Sonographie ist ein Gerät, dessen Prototyp 2011 in einer Studie vorgestellt wurde. Es arbeitet mit einer Frequenz von 50 MHz, wodurch eine hohe axiale Auflösung gewährleistet ist. Es hat ein integriertes Bewässerungssystem, welches das Ultraschallgel als Kontaktmittel ersetzen soll und im Vergleich zum SDM® eine Messung ohne Druck ermöglicht [Slak et al. 2011]. Das Gerät zeigt in einer vergleichenden Studie zur Gingivadickenmessung vielversprechende Ergebnisse [Slak et al. 2014]. Problematiken, die sich durch die A-Mode Technik ergeben, wie die mangelnde Kontrolle über die korrekte Positionierung der Sonde, sind jedoch auch mit diesem Gerät präsent. Im Gingivadickenmessgerät Pirop® (Echoson®, Polen), ein weiteres Gerät welches das A-Mode Prinzip nutzt, wurde eine Technik verbaut, die die Problematik der Verfälschung von Messergebnissen durch falsche Sondenpositionierung verhindern soll [Bednarz 2011]. Eine Beurteilung des Knochenverlaufs ist jedoch nur durch eine Vielzahl einzelner Messungen möglich. Zudem besteht, durch die Notwendigkeit des direkten Kontaktes der Sonde mit der Gingiva, die Gefahr der Verfälschung des Messergebnisses durch Kompression.

Die B-Mode Sonographie ermöglicht neben der Messung der Gingivadicke eine Beurteilung des knöchernen und gingivalen Verlaufs. 1985 wurde das B-Mode Verfahren erstmalig im Bereich der Mundhöhle angewandt [Fukukita et al. 1985]. Mit dem damaligen Entwicklungsstand der Ultraschalltechnik konnten jedoch keine aussagekräftigen Resultate erzielt werden. In der vorliegenden Arbeit kam eine hochempfindliche Ultraschallsonde zum Einsatz. Die Sonde SI3116 von der Firma Esaote®, die für das tragbare Ultraschallgerät MyLabOne™ entwickelt wurde, besitzt einen Linearschallkopf und arbeitet mit einer maximalen Frequenz von 22 MHz. Die Bildtiefe beträgt in diesem Arbeitsmodus 5 mm. Der Linearschallkopf ist optimal geeignet für die Darstellung oberflächlicher Strukturen, da die Piezoelemente in der Sonde in Reihe angeordnet sind. Die Ausbreitungsrichtung der Wellen ist deshalb parallel zum Schallkopf, das Sonogramm ist rechteckig. Alle Bildobjekte werden somit unverzerrt dargestellt. Die hohe Frequenz der Sonde ermöglicht eine sehr gute axiale

Auflösung. Esaote® nennt diese Technik XHF™ *eXtreme High Frequency Imaging*. Für die Untersuchung der sehr dünnen Mundschleimhaut ist sie somit optimal geeignet. Sie ermöglicht Messungen mit einer Genauigkeit von 0,01 mm. Zur Überprüfung ihrer Einsatzfähigkeit bezüglich der geplanten Fragestellung wurden zwei Messreihen am Schweinekiefer durchgeführt. Die Messmethode zeigte hohe Validität. Die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse, die neben dem Versuch am Schweinekiefer auch am Menschen getestet wurde, erwies sich ebenfalls als sehr gut. Im Untersuchervergleich zeigte sich das Messverfahren als Untersucher-unabhängig. *Die Reliabilität des Messverfahrens kann als sehr gut bewertet werden* (siehe Absatz 6.2).

Die plane Auflagefläche der Sonde bedingt die Verwendung eines Ultraschallkontaktgels zur Darstellung eines idealen Sonogramms der Zahnoberfläche, des Alveolarknochens und der unkomprimierten Gingiva. Die Qualität des Sonogramms, nach Einstellung des Fokus auf den Bildbereich, indem die Gingiva abgebildet wird, erwies sich als optimal. Der Verlauf des Alveolarknochens kann in den Sonogrammen ebenso gut beurteilt werden wie der Verlauf der Gingiva. Apiko-inzisale Unterschiede der Gingivadicke können anhand der zweidimensionalen Bilder leicht detektiert werden. Auch Knochendehiszenzen könnten, mithilfe des beschriebenen sonographischen Untersuchungsverfahrens, diagnostiziert werden. Der Informationsgehalt eines zweidimensionalen Sonogramms ist somit deutlich größer als der einer Distanzmessung nach dem Puls-Echo-Prinzip. Der Nachteil der größeren Auflagefläche des verwendeten linearen Schallkopfes ist die eingeschränkte Zugänglichkeit distal gelegener Strukturen. Betrachtet man die Wirtschaftlichkeit des Gerätes ist das breite Einsatzspektrum, welches über die intraorale Anwendung hinausgeht, von Vorteil. In einer Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgischen Praxis kann es beispielsweise nicht nur zur Untersuchung der Gingiva eingesetzt werden sondern auch im Bereich der Halslymphknoten-, Tumor- und Speicheldrüsendiagnostik.

Die Ultraschallsonde SI3116 in Verbindungen mit dem MyLabOne™ der Firma Esaote® zeigte für die Studienzwecke optimale Eigenschaften. Die hohe Bildqualität und die sehr gute Auflösung ermöglichten exakte Messungen der Gingivadicke der Oberkieferfrontzahnregion. Eine Optimierung des Sondendesigns, wodurch der Zugang zu oralen und distal gelegenen Strukturen ermöglicht würde, wäre opportun.

7.2 Diskussion der Ergebnisse

7.2.1 Breite der Gingiva

In dieser Studie wurden gingivale Breiten zwischen 0,75 mm und 9,25 mm gemessen (siehe Tab. 11). Dies entspricht Ergebnissen vorheriger Untersuchungen, in denen die Breite der Gingiva der Oberkieferfrontzähne vermessen wurde. Die Werte lagen in diesen Studien zwischen 1 mm und 9 mm [Bowers 1963], beziehungsweise zwischen 0 mm und 7 mm (Gingiva *fixa*) und 0,8 mm und 2,1 mm (Gingiva *libera*) [Ainamo et Loe 1966].

Geschlechtsspezifische Unterschiede der gingivalen Breite wurden sowohl im Zusammenhang mit einer Überprüfung der Biotypen-Hypothese als auch unabhängig davon in der Vergangenheit untersucht. Die Ergebnisse der Studien stimmen mit den in diesem Patientenkollektiv gefundenen Ergebnissen überein. *Die Differenz der durchschnittlichen Breite der Gingiva (ϕ BdG) zwischen beiden Geschlechtern beträgt in diesem Patientenkollektiv 0,07 mm, sie ist nicht signifikant* (siehe Tab. 11). Auch in den bisherigen Studien lag kein signifikanter Unterschied der gingivalen Breite männlicher und weiblicher Probanden vor [Ainamo et Talari 1976; Ainamo et al. 1981; Chou et al. 2008; De Rouck et al. 2009; Anand et al. 2012].

Im Altersvergleich konnten keine signifikanten Unterschiede der Breite der Gingiva nachgewiesen werden. Es zeigt sich jedoch ein tendenzieller Zuwachs der gingivalen Breite mit dem Alter. In dieser Studie wurden die maximalen Werte für die Breite der Gingiva an den mittleren Incisivi (BdG1) und an den seitlichen Incisivi (BdG2) bei Patienten aus der ältesten Altersgruppe gemessen. In dieser Altersgruppe lag jedoch im Allgemeinen auch die größte Streuung der Ergebnisse vor (Variationskoeffizient: 31-39%). Im Vergleich der Mittelwerte zeigt sich deshalb eine Zunahme der gingivalen Breite von der jungen zur mittleren Altersgruppe, die älteste Altersgruppe zeigt jedoch durchschnittlich niedrigere Werte als die mittlere Altersgruppe (siehe Tab. 11). Ein Zuwachs der gingivalen Breite mit dem Alter wurde bereits in vorherigen Studien beobachtet [Ainamo et Talari 1976; Mazeland 1980]. Die beobachtete Verbreiterung der Gingiva scheint jedoch mit zunehmendem Alter langsamer voranzuschreiten [Ainamo et al. 1981]. Die Tatsache, dass die Ergebnisse dieser Studie nicht in voller Übereinstimmung mit bisherigen Studienergebnissen sind, ist vermutlich durch die große Varianz der Messergebnisse in der ältesten Altersgruppe begründet. Die Varianz der Messwerte in der ältesten Gruppe kommt möglicherweise durch eine zusätzliche Beeinflussung der Breite der Gingiva durch extrinsische Einflüsse zustande.

Die Notwendigkeit einer breiten Gingiva *fixa* wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Die Entwicklung der mukogingivalen Chirurgie beruht auf der Annahme, dass eine breite Gingiva resistenter gegen Inflammation und Rezession ist als ein nur schmaler Saum an Gingiva *fixa* [Gottsegen 1954; Carranza et Carraro 1970; Lang et Loe 1972; Ruben 1979]. Einige Studiengruppen kommen jedoch zu dem Ergebnis, dass die Breite der Gingiva keinen nennenswerten Einfluss hat auf den Erhalt eines gesunden Parodonts [Miyasato et al. 1977; Hangorsky et Bissada 1980; Schoo et van der Velden 1985; Kisch et al. 1986]. Es ist allerdings wahrscheinlich, dass eine breite Gingiva *fixa* mechanischen Reizen, wie dem muskulären Zug durch Frenula, und mastikatorischen Belastungen gegenüber widerstandsfähiger ist als eine schmale Gingiva. Obwohl also die Relevanz der gingivalen Breite für die parodontale Gesundheit und die Erfolgchancen einer Implantation nicht eindeutig geklärt ist, wird eine breite Gingiva dennoch im klinischen Alltag als vorteilhaft angesehen.

7.2.2 Ausformung des Gingivasaums

Die durchschnittliche Papillenhöhe aller Patienten beträgt in der vorliegenden Arbeit 3,87 mm (CV 19%; 2,1mm-6,1mm). Der Wert ist in Übereinstimmung mit den Studienergebnissen von Olsson et al. (1993), de Rouck et al. (2009) und Stein et al. 2013. Die Durchschnittswerte, die von Chou et al (2008) und Stellini et al (2013) ermittelt wurden, liegen etwas darüber. Der Grund dafür ist möglicherweise die unterschiedliche Zusammensetzung der Patientenkollektive. Stellini et al. und Chou et al. untersuchten lediglich Patienten im Alter von 20 bis 30 Jahren. In der vorliegenden Arbeit zeigt sich im altersbezogenen Vergleich ein signifikanter Unterschied der durchschnittlichen Papillenhöhe (ØPH) für die jüngste und die mittlere Altersgruppe. An allen Messpunkten wurden im Durchschnitt die höchsten Werte für die Papillenhöhe in der mittleren Altersgruppe gemessen (siehe Tab. 12). Es liegen zu diesem Zeitpunkt keine weiteren Studien vor, in denen Altersunterschiede bezüglich der Papillenhöhe untersucht wurden. Die Tatsache, dass die durchschnittlichen Messergebnisse von Studien, in denen nur Patienten der mittleren Altersklasse betrachtet wurden die von Studien, in denen Patienten aller Altersklassen untersucht wurden übersteigen, deutet jedoch darauf hin, dass tatsächlich ein altersspezifischer Unterschied der Ausformung des Gingivasaums vorliegt. Es ist wahrscheinlich, dass Wachstumsvorgänge, die je nach Geschlecht ungefähr zwischen dem 17. und 19. Lebensjahr abgeschlossen sind [Tanner et al. 1976], zu einer Veränderung der

Morphologie des parodontalen Apparates führen. Eine stärkere Ausprägung der Girlandenform des Gingivasaums im Alter, aufgrund von Wachstumsvorgängen, wäre deshalb nachvollziehbar.

In dieser Studie liegen auch für Patienten der ältesten Altersgruppe durchschnittlich geringere Messwerte vor als für Patienten mittleren Alters. Die Differenzen sind jedoch nicht signifikant (siehe Tab. 12 und Tab. 13). Ob solche Unterschiede auch in der Grundgesamtheit vorliegen, muss anhand weiterer Studien geklärt werden. Es ist möglich, dass Alterungsprozesse, beispielsweise aufgrund von Veränderung der Kollagensyntheseleistung [McCoy et al. 1982] oder der Atrophie des *limbus alveolaris* [Grossi et al. 1995], zu einer Abflachung der interdentalen Papille führen und somit zu einer Veränderung der Ausformung des Gingivasaums.

Im geschlechtsspezifischen Vergleich der Papillenhöhe zeigt sich, dass die männlichen Patienten des vorliegenden Kollektivs einen durchschnittlich ausgeprägter girlandenförmigen Gingivasaum aufweisen als die weiblichen. Ein signifikanter Unterschied der Höhe der Papille liegt lediglich für den Messpunkt zwischen den mittleren Incisivi vor. Es ist somit wahrscheinlich, dass die beobachteten Geschlechtsunterschiede zufällig sind und nur auf das vorliegende Patientenkollektiv zutreffen. Auf der Grundlage bisheriger Studienergebnisse ist ein geschlechtsspezifischer Unterschied der Papillenhöhe ebenfalls nicht zu erwarten [De Rouck et al. 2009; Anand et al. 2012].

7.2.3 Zahnform

Das Verhältnis von Zahnbreite zu Zahnlänge wurde nach Olsson et Lindhe (1991) als messbares Äquivalent für die Zahnform definiert. Je höher der so errechnete Wert, umso quadratischer ist der Zahn. Die im Durchschnitt für die gesamte Oberkieferfront errechneten Werte liegen in dieser Studie zwischen 0,56 und 0,95. Die im Durchschnitt quadratischsten Zähne sind die mittleren Incisivi und die länglichsten die seitlichen Incisivi (siehe Tab. 14). Dieser Unterschied der Form der einzelnen OK-Frontzähne ist bereits in mehreren Studien beobachtet worden [Olsson et al. 1993; Eger et al. 1996; Chou et al. 2008].

Einige Studiengruppen verwenden den mittleren Incisivus als Richtwert für die Dentition des Oberkiefers in der Annahme, dass dieser die Charakteristik der Oberkieferfrontzähne am deutlichsten widerspiegelt [De Rouck et al. 2009; Stein et al. 2013; Stellini et al. 2013]. Diese Annahme wurde mithilfe einer Korrelationsanalyse überprüft (siehe Absatz 6.4.3.1) und stellt

sich als wahrscheinlich dar. Für die Korrelationsanalyse zur Überprüfung von Zusammenhängen zwischen der Dicke der Gingiva und der Zahnform wurde deshalb auch in dieser Studie die Form der mittleren Incisivi als Richtwert verwendet.

Im Vergleich finden sich keine signifikanten Unterschiede der Zahnform von Männern und Frauen (siehe Tab. 14). Dies ist in Übereinstimmung mit bisherigen Studien [Chou et al. 2008; De Rouck et al. 2009; Anand et al. 2012].

Im altersbezogenen Vergleich der Zahnform zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Altersgruppen. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass die Zähne mit zunehmendem Alter länglicher werden (siehe Tab. 14). Eine Veränderung der Zahnform mit dem Alter ist, bis auf mastikationsbedingte Formveränderungen, wie Attrition und Abrasion, aufgrund der Entstehungsform der Zähne ausgeschlossen. Die Erscheinung eines Zahns in der Mundhöhle wird allerdings beeinflusst durch die gingivale Architektur. Es ist wahrscheinlich, dass Wachstumsvorgänge des Kiefers deshalb mit einer Verlängerung der sichtbaren Zahnkrone einhergehen, weil sich die Morphologie der Gingiva und des *limbus alveolaris* verändern. Eine Veränderung des Erscheinungsbildes der Zähne aufgrund parodontaler Umstrukturierungen ist nachvollziehbar und vermutlich der Grund für die gefundenen Altersunterschiede. Als Referenzpunkte für die Messung der Zahnlänge wurden die Inzisalkante und der tiefste Punkte des Gingivasaums mittig des Zahns verwendet. Sofern die Schmelz-Zement Grenze erkennbar war, wurde diese als apikaler Referenzpunkt verwendet. Eine mögliche Erklärung für das vorliegende Ergebnis, bezüglich einer altersabhängigen Veränderung der Zahnform (siehe Tab. 14 und Tab. 15), ist somit die Problematik, die sich aus der non-invasiven Messmethode ergibt. Junge Patienten zeigen seltener Rezessionen als ältere Patienten [Kleber 1991], die Schmelz-Zement-Grenze ist somit bei jungen Patienten häufig weiter vom Gingivasaum entfernt. Da in dieser Studie nicht intentioniert war die Schmelz-Zement-Grenze chirurgisch freizulegen, um identische apikale Referenzpunkte für alle Patienten zu erhalten, ist das Ergebnis dadurch vermutlich beeinträchtigt.

In keiner der Studien zur Überprüfung der Existenz von Biotypen wurden altersbezogene Unterschiede der Zahnform überprüft, ein Vergleich mit bisherigen Studienergebnissen ist somit nicht möglich.

Aufgrund der Entstehungsform der Zahnkrone ist es, mit Ausnahme von attritions- und abrasionsbedingten Veränderungen, nicht möglich, dass altersbezogene Unterschiede der Zahnform bestehen. Das Ergebnis zeigt jedoch, dass das klinische Erscheinungsbild der Zahnkrone, welches in dieser Studie im Fokus steht, sich durchaus mit dem Alter verändert.

7.2.4 Dicke der Gingiva

Die Gingivadicke ist, aufgrund der klinischen Relevanz, ein viel erforschtes Thema. Wie bereits dargestellt werden in der Literatur diverse Messmethoden beschrieben (siehe Absatz 4). In dieser Studie war es möglich mithilfe der B-Mode Sonographie ein hochauflösendes zweidimensionales Sonogramm des marginalen Parodonts zu erstellen. Das Verfahren ermöglicht eine schmerzfreie Messung sowohl der Gingiva *libera* als auch der Gingiva *fixa*. Es liegt derzeit nur eine Studie zur Überprüfung von Zusammenhängen parodontaler Parameter vor, in der ebenfalls eine Messung der Gingivadicke an mehreren apiko-inzisalen Messpunkten durchgeführt wurde. In jener Studie konnte jedoch nur der linke mittlere Incisivus untersucht werden, da ein röntgenologisches Verfahren angewendet wurde. Dies ermöglicht nur eine exakte Darstellung eines Zahnes pro Röntgenaufnahme [Stein et al. 2013].

In der vorliegenden Arbeit beträgt die durchschnittlich gemessene Dicke der Gingiva *fixa* 0,81 mm (CV 17%) und die der Gingiva *libera* 1,27 mm (CV 14%). Der durchschnittliche Dickenunterschied zwischen der freien und der befestigten Gingiva beträgt 0,46 mm (siehe Tab. 16). Mit Ausnahme eines Patienten wurden für die Gingiva *libera* in diesem Kollektiv größere Werte gemessen als für die Gingiva *fixa*. Die Größe der Differenz beider Messwerte variiert jedoch stark zwischen den Patienten (siehe Abb. 25).

Die unterschiedlichen Methoden und Messpunkte, die in vorangegangenen Studien zur Messung der Gingivadicke beschrieben werden, ermöglichen nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit der Studien miteinander. Zwei der Studien zur Überprüfung der Biotypen-Hypothese lassen keine genaue Definition des Messpunktes erkennen, eine Zuordnung der Messergebnisse zur freien oder befestigten Gingiva ist somit nicht sicher möglich [Eger et al. 1996; Chou et al. 2008]. In diversen Studien wurde keine Messung der Gingivadicke durchgeführt, sondern eine Beurteilung anhand visueller Eindrücke. Eine Methode, welche nachweislich fehlerbehaftet ist (siehe Absatz 6.6 und [Cuny-Houchmand et al. 2013]).

Die einzige Studie, in der die Messpunkte ähnlich präzise definiert sind wie in der vorliegenden, ist die Untersuchung von Stein et al. (2013). Die in der vorliegenden Arbeit definierten Messpunkte entsprechen ungefähr dem Messpunkt G3 (GDL) und dem Messpunkt G6 (GDB) der Studie von Stein et al.. Die durchschnittlich gemessenen Werte für die Gingiva *libera* und die Gingiva *fixa* stimmen mit den Ergebnissen für die entsprechenden Messpunkte der röntgenologischen Studie nahezu überein [Stein et al. 2013].

Die Messergebnisse für die Gingiva *libera* stimmen zudem mit den Ergebnissen von Olsson et al. (1993) überein und sind nur wenig niedriger als die von Stellini et al. (2013), was durch den größeren Anteil an weiblichen Patienten in der vorliegenden Arbeit begründet sein kann. Die Messergebnisse für die Gingiva *fixa* entsprechen des Weiteren den Ergebnissen von Müller et al. (2000a). In weiteren Untersuchungen, die Messergebnisse für die Gingiva *fixa* liefern, sind die Messpunkte nur sehr ungenau definiert. Die Messergebnisse liegen im Gesamtdurchschnitt nah beieinander und sind etwas höher als die in der vorliegenden Arbeit gemessenen Werte [Kydd et al. 1971; Vandana et Savitha 2005; Egreja et al. 2012; Kolte et al. 2014].

Die Differenzen in den Messergebnissen der bisherigen Studien sind vermutlich begründet durch geschlechtliche, altersspezifische und ethnische Unterschiede der Patientenkollektive. *Es ist jedoch anhand aller Ergebnisse ersichtlich, dass die Gingiva libera im Allgemeinen dicker ist als die Gingiva fixa.* Die in diesem Patientenkollektiv gemessenen Durchschnittswerte für die freie und die befestigte Gingiva korrelieren diesbezüglich mit bisherigen Studienergebnissen. *Es sei zudem festzuhalten, dass die in der vorliegenden Arbeit angewendete Messmethode die einzige atraumatische Methode ist, mithilfe derer eine genaue Definition der Messpunkte möglich ist.* Nur durch eine genaue Übereinstimmung der Messpunkte ist eine exakte Vergleichbarkeit von Studien gewährleistet.

Trotz der sehr unterschiedlichen Messmethoden und Messpunkte, stimmen die Ergebnisse der Studien bezüglich eines signifikanten Unterschiedes der Gingivadicke von Männern und Frauen überein [Müller et al. 2000b; Chou et al. 2008; Kolte et al. 2014]. *Auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstreichen das Vorhandensein eines geschlechtsbezogenen Unterschieds.* Es wurden an allen Messpunkten höhere Werte bei männlichen Patienten gemessen. Der einzige Messpunkt, für den keine Signifikanz dieser Differenz nachgewiesen werden konnte, ist der Messpunkt der Gingiva *fixa* des seitlichen Incisivus (GDB2). Die durchschnittliche Differenz liegt an allen Messpunkten bei ungefähr 0,1 mm, für die Gingiva *libera* ist sie etwas größer als für die Gingiva *fixa* (siehe Tab. 17 und Tab. 19). Auch in Studien, in denen die Dicke der Gingiva rein visuell bestimmt wurde, wurde eine dicke Gingiva häufiger bei männlichen Patienten beobachtet und eine dünne Gingiva häufiger bei weiblichen Patienten [De Rouck et al. 2009; Anand et al. 2012; Fischer et al. 2013].

Es liegen nur wenige Studien vor, die Ergebnisse zu altersspezifischen Unterschieden der Gingivadicke liefern. Zudem sind die bisherigen Ergebnisse widersprüchlich. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen eine Abnahme der Dicke der Gingiva *libera* mit dem Alter vermuten, da bis auf den Messpunkt an den mittleren Incisivi (GDL1) kleinere Werte mit

zunehmendem Alter gemessen wurden. Diese Altersunterschiede sind jedoch nicht signifikant (siehe Tab. 19 und Tab. 20). Auch für die *Gingiva fixa* wurden bis auf den Messpunkt an den mittleren Incisivi (GDB1) die höchsten Werte für die Gingivadicke bei Patienten der jüngsten Altersgruppe gemessen. Eine weitere Abnahme der Gingivadicke mit steigendem Alter ist jedoch nicht erkennbar. Auch diese Ergebnisse sind nicht signifikant (siehe Tab. 17 und Tab. 18). Auch Eger et al. (1996) gelang es nicht altersspezifische Unterschiede der Gingivadicke nachzuweisen. Die Studienergebnisse von Vandana et Savitha (2005) und Kolte et al. (2014) lassen auf eine Abnahme der Gingivadicke mit zunehmendem Alter schließen. Diese Kongruenz kann durch die Übereinstimmung des Messpunktes und der Messmethode beider Studien begründet sein. Die Inkonsistenz der Ergebnisse bezüglich des altersspezifischen Unterschiedes der Dicke der Gingiva kommt vermutlich durch die unterschiedliche geschlechtliche, altersmäßige und ethnische Zusammensetzung der Patientenkollektive zustande. *Da, trotz mangelnder Signifikanz, auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit darauf hindeuten, dass die Gingivadicke mit zunehmendem Alter abnimmt, ist eine nähere Untersuchung dieses Zusammenhang in Zukunft anzuraten.*

7.2.5 Korrelation der parodontalen Parameter

In den 1970er Jahren wurden erstmals Zusammenhänge zwischen der Ausformung des Gingivasaum und der Gingivadicke beschrieben [Weisgold 1977]. Aus den Beobachtungen wurde geschlussfolgert, dass es im Allgemeinen zwei Formen gingivaler Morphologie gibt. Patienten mit einer dicken Gingiva haben demnach einen flach verlaufenden Gingivasaum und breitere, apikaler positionierte Approximalkontakte, wie sie bei quadratischen Zähnen zu sehen sind. Patienten mit dünner Gingiva zeigen demnach einen ausgeprägter girlandenförmigen Gingivasaum und schmale, inzisale Kontaktpunkte, typisch für länglichere Zähne [Weisgold 1977]. Zur Beschreibung dieser beiden morphologischen Variationen wurden der Begriff „Biotyp“ eingeführt [Seibert et Lindhe 1989].

Eine statistische Überprüfung dieser Beobachtungen ist notwendig, denn die gingivale Ausformung und vor allem die Dicke der Gingiva sind Kriterien, die in der parodontologischen und implantologischen Therapieplanung von essentieller Bedeutung sind. Das Gewebeangebot gibt die Vorgehensweise vor und sollte deshalb prätherapeutisch detailliert analysiert werden. Aus parodontologischer Sicht ist vor allem die unterschiedliche posttherapeutische Reaktionsweise einer dünnen und dicken Gingiva zu berücksichtigen. Bei

einer dünnen Gingiva ist beispielsweise meist mit einem geringeren Gewebezuwachs nach chirurgischer Therapie [Pontoriero et Carnevale 2001] und einer größeren Wahrscheinlichkeit für das Auftreten und einem größeren Ausmaß an posttherapeutischen Rezessionen zu rechnen [Anderegg et al. 1995]. Bei einer Versorgung zahnloser Kieferabschnitte mit Implantaten muss, neben dem chirurgischen Vorgehen [Hämmerle et al. 2004], auch die prothetische Versorgung auf die gingivalen Verhältnisse angepasst werden. Bei der Wahl des Abutmentmaterials sollte die Gingivadicke berücksichtigt werden, um eine unästhetische Farbveränderung der Gingiva zu vermeiden [Jung et al. 2007]. Die Positionierung und Angulation des Implantats muss ebenfalls an die gingivalen Verhältnisse angepasst werden, da vor allem eine dünne Gingiva bei bukkal positionierten Implantaten zu Rezessionen neigt [Evans et Chen 2008] oder eine Transluzenz des titanfarbenen Implantates begünstigt. Die Tatsache, dass bei Patienten mit dünner Gingiva ein vermehrter Knochenverlust nach Implantatinserterion beobachtet wurde [Linkevicius et al. 2009], verdeutlicht weiter, dass es absolut gerechtfertigt ist Patienten mit dünner Gingiva als Risikopatienten zu betrachten. Die sichere Identifikation eines Risikopatienten sollte sich nicht nur auf empirische Beobachtungen stützen, sondern auf evidenten Erkenntnissen beruhen. Eine Beurteilung der Gingivadicke anhand der Ausformung des Gingivasaums oder der Zahnform sollte also nur dann erfolgen, wenn ein Zusammenhang dieser Parameter tatsächlich nachweisbar ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstützen die Hypothese zur Existenz parodontaler Biotypen nicht.

Die parodontalen Parameter Breite der Gingiva, gingivale Ausformung und Zahnform wurden einzeln auf Korrelation mit der Gingivadicke geprüft. Für die Korrelationsanalysen wurden jeweils die Gingiva *fixa* und die Gingiva *libera* separat betrachtet.

Keiner der Parameter korreliert in einem aussagekräftigen Ausmaß signifikant mit der Gingivadicke (siehe Absatz 6.5).

7.2.5.1 Diskussion der Korrelation zwischen Breite und Dicke der Gingiva

Die Korrelationsanalyse der Breite der Gingiva und der Dicke der Gingiva *libera* liefert das einzige signifikante Ergebnis bezüglich des Vergleichs der einzelnen Parameter mit der Gingivadicke. Die Korrelation ist jedoch mit einem maximalen Wert des Korrelationskoeffizienten nach Pearson von $r = 0,555$ (Korr. øBdG – GDL1) sehr niedrig

(siehe Tab. 22). Betrachtete man das Streudiagramm (Abb. 27) zur Veranschaulichung der Ergebnisse (Korr. $\sigma\text{BdG} - \sigma\text{GDL}$; Pearson $r = 0,502$), erkennt man, dass zwar tendenziell eine Zunahme der gingivalen Breite mit zunehmender Dicke der Gingiva *libera* beobachtet werden kann, dass dieser Zusammenhang jedoch viel zu gering ist, um auf eine Regelmäßigkeit schließen zu lassen. Man erkennt in dem Diagramm beispielsweise, dass für die durchschnittliche Dicke der Gingiva *libera* (σGDL) von Patienten, mit einer durchschnittlichen Breite der Gingiva (σBdG) von 4,5 mm bis 5,0 mm, Werte zwischen 0,92 mm und 1,43 mm gemessen wurden, Werte die fast den Extrema der Messwerte für die durchschnittliche Dicke der Gingiva *libera* entsprechen (Min. 0,9 mm; Max. 1,73 mm; siehe Tab. 19). Das Beispiel verdeutlicht, dass der gefundene Zusammenhang keinesfalls überinterpretiert werden darf.

Betrachtet man bisherige Studien zu diesem Thema, so zeigt sich eine Inkonsistenz der Ergebnisse. Kolte et al. (2014) fanden eine gering negative Korrelation zwischen der Dicke der Gingiva *fixa* und der Breite der Gingiva (Pearson $r = -0,3742$; $p < 0,0001$), Egreja et al. (2012) eine leicht positive (Pearson $r = 0,492$; $p < 0,05$). Auch die Ergebnisse von Studien, in denen Clusteranalysen zur Anwendung kamen, deuten darauf hin, dass kein Zusammenhang zwischen der Dicke der Gingiva und ihrer Breite besteht. Es wurden Cluster mit jeder Kombination von dünner und dicker sowie schmaler und breiter Gingiva gefunden (siehe Tab. 2).

Das Ergebnis dieser Studie unterstützt die These, dass es nicht möglich ist von der Breite der Gingiva auf die Gingivadiecke rückzuschließen.



Abb. 32 Darstellung zweier Patienten mit ähnlicher gingivaler Breite und unterschiedlicher Gingivadiecke;
links: σGDB 0,67mm σGDL 1,4mm; rechts: σGDB 0,77mm σGDL 1,08mm

7.2.5.2 Diskussion der Korrelation zwischen der gingivalen Ausformung und der Gingivadicke

Olsson et al. (1993) überprüften als Erste systematisch die Zusammenhänge zwischen der Dicke der Gingiva und der gingivalen Ausformung. Den Ergebnissen ihrer Studie ist eine Tendenz zu entnehmen, wonach Patienten mit dünner Gingiva eine ausgeprägtere Girlandenform der Gingiva aufweisen. Ein signifikanter Unterschied der Gingivadicke von Patienten mit ausgeprägten Papillen und Patienten mit flachen Papillen konnte nicht nachgewiesen werden. Auch Malhotra et al. (2014) beobachteten bei Patienten mit dünner Gingiva durchschnittlich höhere Papillen, die Signifikanz dieses Ergebnisses ist jedoch der Studie nicht zu entnehmen.

In der vorliegenden Arbeit, in der erstmalig die Gingivadicke an mehreren apiko-inzisalen Punkte und zusätzlich die Papillenhöhe aller Papillen der OK-Front vermessen wurden, zeigt die Korrelationsanalyse eindeutige Ergebnisse: Eine Korrelation der beiden Parameter ist anhand der vorliegenden Ergebnisse auszuschließen. Eine Einteilung des vorliegenden Patientenkollektivs in einen „thin-scalloped“ und einen „thick-flat“ Biotypen ist somit nicht möglich.

Dies entspricht den Messergebnissen von Stein et al. (2013) und auch den Beobachtungen von Fischer et al. (2013), in deren Studie eine visuelle Beurteilung der Dicke der Gingiva zur Anwendung kam. Auch die von de Rouck et al. (2009) und Anand et al. (2012) ermittelten Cluster lassen nicht vermuten, dass eine dünne Gingiva häufiger mit einer ausgeprägten Girlandenform in Zusammenhang steht als eine dicke Gingiva (siehe Tab. 2).



Abb. 33 Darstellung zweier Patienten mit unterschiedlich ausgeprägter Girlandenform des Gingivalraums und annähernd gleicher Gingivadicke; links: øGDB 0,7mm øGDL 1,18mm; rechts: øGDB 0,75mm øGDL 1,18mm

Trotz der leicht differierenden Ergebnisse der bisherigen Studien zu diesem Thema lässt sich anhand der in dieser Arbeit neu erworbenen Kenntnisse schlussfolgern, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Gingivadicke und Ausformung des Gingivasaums auszuschließen ist.

7.2.5.3 Diskussion der Korrelation zwischen der Zahnform und der Gingivadicke

In allen Studien, die in Tab. 1 aufgeführt sind, wurde der Zusammenhang zwischen der Gingivadicke und der Zahnform untersucht. Unabhängig davon, ob eine Messmethode oder eine visuelle Beurteilung der Gingiva zur Bestimmung ihrer Dicke verwendet wurde, zeigen sich deutliche Unterschiede in den Ergebnissen. In der vorliegenden Arbeit wurden deshalb zwei unterschiedliche statistische Methoden verwendet, um zu überprüfen, ob die Zahnform und die Gingivadicke miteinander in Zusammenhang stehen. Zur Beschreibung der Zahnform wurde in dieser Studie nach Olsson et Lindhe (1991) das Verhältnis der Zahnkronenbreite zur Zahnkronenlänge berechnet. Es ergibt sich somit für die Zahnform ein Wert zwischen 1 und 0. *Ein aussagefähiger Zusammenhang zwischen diesem Zahlenwert und der Gingivadicke konnte nicht nachgewiesen werden.* Eine geringe signifikante Korrelation zeigt sich nur zwischen der Dicke der Gingiva *fixa* am seitlichen Incisivus (GDB2) und der Zahnform der mittleren Incisivi (ZF1) (siehe Tab. 25).



Abb. 34 Darstellung zweier Patienten mit unterschiedlicher Zahnform und ähnlicher Gingivadicke; links: øGDB 0,75mm øGDL 1,18mm; rechts: øGDB 0,77mm øGDL 1,22mm

In einem zweiten Versuch wurden, gemäß der Studie von Olsson et al. (1993), nur die zehn Patienten mit den länglichsten und die zehn Patienten mit den breitesten Zähnen ausgewählt und die Mittelwerte der Dicke der Gingiva *fixa* und der Dicke der Gingiva *libera* miteinander verglichen. Es liegt zwar ein signifikanter Unterschied der durchschnittlichen Dicke der

Gingiva *fixa* (øGDB) zwischen den beiden Patientengruppen vor (Signifikanzniveau $p < 0,05$), aber die Streuung der Ergebnisse ist selbst in diesem nur 20 Patienten umfassenden Kollektiv groß (siehe Tab. 26 und Abb. 28). Dies spricht dafür, dass die Zahnform und die Gingivadiecke nicht unmittelbar in Zusammenhang stehen. Auch die Studienergebnisse von Olsson et al. (1993), Müller et al. (1997), Müller et al. (2000a), de Rouck et al. (2009), Cook et al. (2011) und Fischer et al. (2013) lassen eine solche Schlussfolgerung zu. In den Studien von Chou et al. (2008) und Stellini et al. (2013) wurden jedoch signifikante Unterschiede der Gingivadiecke von Patienten mit unterschiedlicher Zahnform nachgewiesen. Auch Stein et al. (2013) fanden eine leicht positive Korrelation der Gingivadiecke und der Zahnform. Der größte Unterschied der Studien von Chou et al. und Stellini et al. gegenüber den übrigen Untersuchungen besteht in der Beurteilung der Zahnform. Im Gegensatz zu der vorliegenden und den übrigen Studien wurde eine Einteilung der Zahnform in drei, statt in zwei Kategorien gewählt. Stellini et al. verwendeten dafür die Einteilung nach Gobbato et al. (2012).

Dass Patienten mit quadratischen Zähnen eine tendenziell dickere Gingiva aufweisen, ist anhand der vorliegenden und der bisherigen Studienergebnisse nicht auszuschließen. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Gingivadiecke und der Zahnform konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Die Zahnform sollte deshalb nicht zur Beurteilung der Dicke der Gingiva herangezogen werden.

7.2.5.4 Diskussion der Ergebnisse im Vergleich mit bisherigen Studien

Bei genauer Betrachtung korrelieren die gefundenen Ergebnisse im Allgemeinen mit bisherigen Studienergebnissen. Die Interpretation der Ergebnisse und die Schlussfolgerungen, die aus teilweise minimalen Korrelationen oder Clusteranalysen gezogen werden, widersprechen jedoch in einigen Studien den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Das Ergebnis einer Clusteranalyse beispielsweise beinhaltet ausschließlich Informationen zum untersuchten Patientenkollektiv und ist zudem stark abhängig von der Interpretation des Analytikers. Eine Übertragung der Ergebnisse auf ein Gesamtkollektiv gleicht einer Überinterpretation. Das Problem, welches durch solche Überinterpretationen entsteht, ist dass Schlussfolgerungen und Interpretationen häufig in Publikationen übernommen werden, ohne diese kritisch zu hinterfragen. Deshalb wird auch noch heute die Hypothese der zwei Biotypen in vielen Studien als geltend angesehen [Jung et al. 2008; Nozawa et al. 2009; Arora

et al. 2013; Cuny-Houchmand et al. 2013], obwohl kein Beweis für die Theorie je dargelegt werden konnte.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass keine Zusammenhänge zwischen der Gingivadicke und der Breite der Gingiva, der Papillenhöhe und der Zahnform bestehen, die eine Einteilung von Patienten in „Biotypen“ zulassen. Vielmehr ist anzunehmen, dass ein individuelles Ausprägungsmuster all dieser Merkmale in jedem Individuum am wahrscheinlichsten ist.

Um diese Schlussfolgerung mit Sicherheit belegen zu können, ist es notwendig die vorliegenden Ergebnisse mithilfe einer ähnlich präzisen Untersuchungsmethode an einem größeren Patientenkollektiv zu überprüfen, da die Vergleichbarkeit mit bisherigen Studien aufgrund der stark differierenden Studienaufbauten eingeschränkt ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit betonen die Notwendigkeit einer detaillierten prätherapeutischen Untersuchung der Gingiva.

8 Schlussfolgerung

1. Die sonographische Untersuchung der Gingiva mit dem MyLabOne™ und der Sonde SI3116 liefert eine detaillierte Darstellung der marginalen Gingiva und des Knochenverlaufs der Oberkieferfrontzahnregion und ermöglicht eine genaue Messung der Gingivadicke an jeder gewünschten apiko-inzisalen Position. Die Anwendbarkeit in weiter distal gelegenen Regionen der Mundhöhle ist aufgrund des Sondendesigns eingeschränkt.
2. Die Beurteilung der Gingivadicke anhand ihrer Transparenz führt häufig zu einem Nichterkennen von Risikopatienten (Patienten mit dünner Gingiva).
3. Die Gingiva *fixa* ist im Allgemeinen dünner als die Gingiva *libera*. Die Differenz beider Werte zeigt große interindividuelle Varianz.
4. Männer haben durchschnittlich eine dickere Gingiva als Frauen. Die Breite der Gingiva, die Ausformung der Gingivasäume und die Zahnform zeigen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede.
5. Eine Zunahme der Breite der Gingiva und eine Abnahme der Gingivadicke mit dem Alter sind zu vermuten. Es sind weitere Studien, mit größeren Fallzahlen, notwendig um dies zu belegen.
6. Es scheint kein Zusammenhang zwischen der Gingivadicke und der gingivalen Ausformung, der Zahnform oder der Breite der Gingiva zu bestehen. Eine voneinander unabhängige Ausprägung der parodontalen Merkmale in einem Individuum ist am wahrscheinlichsten. Die zwei beschriebenen Biotypen „thin-scalloped“ und „thick-flat“ sind nicht nachzuweisen.

9 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es eine non-invasive, zeitsparende und exakte Untersuchungsmethode zur multilokulären Bestimmung der Gingivadicke vorzustellen. Unter Anwendung dieser sonographischen Messmethode sollten Zusammenhänge zwischen der Dicke der Gingiva und den parodontalen Parametern Breite der Gingiva, Ausformung des Gingivasaums und Zahnform untersucht werden. Des Weiteren wurde die Genauigkeit der Beurteilung der Gingivadicke anhand der Transluzenz einer in den Sulkus eingeführten Sonde mithilfe der sonographischen Messdaten überprüft. Untersucht wurde die Frontzahnregion des Oberkiefers. Eine Vorversuchsreihe am Schweinekiefer wurde zur Validierung der Messmethode durchgeführt. Die Untersucher-unabhängigkeit und die Reproduzierbarkeit des Messverfahrens wurden ebenfalls überprüft.

Untersucht wurden 59 weibliche und 38 männliche kaukasische Patienten im Alter zwischen 13 und 73 Jahren. Die Patienten wurden in drei Altersgruppen eingeteilt (<18J; 19-30J; >30J). Die Mundhygienesituation der Patienten wurde anhand des BOP- und des QHI-Index bestimmt. Nach dem Ausfiltern von Patienten mit unzureichender Mundhygiene, setzte sich das Patientenkollektiv aus 56 weiblichen und 33 männlichen Patienten zusammen.

Die Beurteilung des Gingivatransparenz erfolgte an den beiden mittleren Incisivi, alle weiteren Untersuchungen wurden jeweils an den sechs Frontzähnen des Oberkiefers durchgeführt. Die Dicke der Gingiva wurde unter Anwendung des Ultraschallgeräts MyLabOne™ (Esaote®, Genua) an zwei Punkten, je 1 mm apikal und inzisal des *limbus alveolaris*, gemessen. Die Überprüfung der Reproduzierbarkeit der sonographisch gewonnenen Messergebnisse ergab eine hohe Reliabilität des Messverfahrens. Die Bestimmung der Zahnform und der gingivalen Ausformung erfolgte nach Olsson et Lindhe (1991) und Olsson et al. (1993). Zur Beurteilung der gingivalen Ausformung wurde demnach die Höhe der Interdentalpapillen der Oberkieferfrontzähne vermessen. Zur Bestimmung der Zahnform wurde die Zahnkronenbreite und die Zahnkronenlänge gemessen. Die Breite der Gingiva wurde mithilfe eines Messschiebers bestimmt.

Die parodontalen Parameter wurden auf geschlechts- und altersspezifische Unterschiede hin überprüft. Die Dicke sowohl der Gingiva *fixa* als auch der Gingiva *libera* männlicher Patienten war signifikant höher als die weiblicher Patienten. Die übrigen Parameter erwiesen sich als geschlechtsunabhängig. Das Ergebnis des altersbezogenen Vergleichs lässt eine Abnahme der Gingivadicke und eine Zunahme der gingivalen Breite mit dem Alter

vermuten, dies wurde jedoch nicht signifikant nachgewiesen. Eine Verlängerung der Zahnform mit dem Alter wurde signifikant nachgewiesen, dies mag unter anderem durch die Messmethode begründet sein. Die Papillenhöhe erwies sich als altersunabhängig

Die Analyse der Korrelation zwischen dem Parameter Gingivadicke und den übrigen parodontalen Parametern lieferte nur für die Korrelation zwischen der gingivalen Breite und der Dicke der Gingiva *libera* signifikante Ergebnisse. Die Korrelationen waren jedoch so gering, dass ein Zusammenhang dennoch anzuzweifeln ist.

Die Beurteilung der Dicke der Gingiva anhand ihrer Transluzenz erwies sich als fehlerbehaftet.

10 Literaturverzeichnis

Ainamo, A., Ainamo, J., Poikkeus, R. (1981). "Continuous widening of the band of attached gingiva from 23 to 65 years of age." Journal of Periodontal Research **16**(6): 595-599.

Ainamo, J., Loe, H. (1966). "Anatomical characteristics of gingiva. A clinical and microscopic study of the free and attached gingiva." Journal of Periodontology **37**(1): 5-13.

Ainamo, J., Talari, A. (1976). "The increase with age of the width of attached gingiva." Journal of Periodontal Research **11**(4): 182-188.

Alpiste-Illueca, F. (2004). "Dimensions of the dentogingival unit in maxillary anterior teeth: a new exploration technique (parallel profile radiograph)." The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry **24**(4): 386-396.

Anand, V., Govila, V., Gulati, M. (2012). "Correlation of gingival tissue biotypes with gender and tooth morphology: A randomized clinical study." Indian Journal of Dentistry **3**(4): 190-195.

Anderegg, C.R., Metzler, D.G., Nicoll, B.K. (1995). "Gingiva thickness in guided tissue regeneration and associated recession at facial furcation defects." Journal of Periodontology **66**(5): 397-402.

Arora, R., Narula, S.C., Sharma, R.K., Tewari, S. (2013). "Supracrestal gingival tissue: assessing relation with periodontal biotypes in a healthy periodontium." The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry **33**(6): 763-771.

Arvidson, K. (1979). "Location and variation in number of taste buds in human fungiform papillae." Scandinavian Journal of Dental Research **87**(6): 435-442.

Beckers, H.W., Eisenacher, W. (1975). "Morphologie der Papillae fungiformes." Advances in Anatomy, Embryology and Cell Biology **50**(6)

Bednarz, W. (2011). "The Thickness of Periodontal Soft Tissue Ultrasonic Examination – Current Possibilities and Perspectives." Dental and Medical Problems **48**(3): 303-310.

Berkovitz B.K.B., Holland, G.R., Moxham, B.J. (2002). Oral Anatomy, Histology and Embryology. Edinburgh, Mosby Elsevier

Bosselmann, S. (2012). Physikalische und technische Grundlagen. Ultraschall in Gynäkologie und Geburtshilfe. Sohn, Holzgreve. Stuttgart, Thieme: 25-60.

Bowers, G.M. (1963). "A study of the width of attached gingiva." Journal of Periodontology **34**: 201-209.

Carranza, F.A., Jr., Carraro, J.J. (1970). "Mucogingival techniques in periodontal surgery." Journal of Periodontology **41**(5): 294-299.

Cha, B.K., Lee, Y.H., Lee, N.K., Choi, D.S., Baek, S.H. (2008). "Soft tissue thickness for placement of an orthodontic miniscrew using an ultrasonic device." The Angle Orthodontist **78**(3): 403-408.

Chou, Y.H., Tsai, C.C., Wang, J.C., Ho, Y.P., Ho, K.Y., Tseng, C.C. (2008). "New classification of crown forms and gingival characteristics in taiwanese." The Open Dentistry Journal **2**: 114-119.

Claffey, N., Shanley, D. (1986). "Relationship of gingival thickness and bleeding to loss of probing attachment in shallow sites following nonsurgical periodontal therapy." Journal of Clinical Periodontology **13**(7): 654-657.

Cook, D.R., Mealey, B.L., Verrett, R.G., Mills, M.P., Noujeim, M.E., Lasho, D.J., Cronin Rj, J.r. (2011). "Relationship between clinical periodontal biotype and labial plate thickness: an in vivo study." The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry **31**(4): 345-354.

Cuny-Houchmand, M., Renaudin, S., Leroul, M., Planche, L., Guehennec, L.L., Soueidan, A. (2013). "Gingival biotype assesement: visual inspection relevance and maxillary versus mandibular comparison." The Open Dentistry Journal **7**: 1-6.

Daly, C.H., Wheeler, J.B., 3rd (1971). "The use of ultra-sonic thickness measurement in the clinical evaluation of the oral soft tissues." International Dental Journal **21**(4): 418-429.

De Rouck, T., Eghbali, R., Collys, K., De Bruyn, H., Cosyn, J. (2009). "The gingival biotype revisited: transparency of the periodontal probe through the gingival margin as a method to discriminate thin from thick gingiva." Journal of Clinical Periodontology **36**(5): 428-433.

Delorme, S., Debus, J., Jenderka, K.V. (2012). Sonografie. Stuttgart, Thieme

Eger, T., Müller, H.P., Heinecke, A. (1996). "Ultrasonic determination of gingival thickness. Subject variation and influence of tooth type and clinical features." Journal of Clinical Periodontology **23**(9): 839-845.

Eghbali, A., De Rouck, T., De Bruyn, H., Cosyn, J. (2009). "The gingival biotype assessed by experienced and inexperienced clinicians." Journal of Clinical Periodontology **36**(11): 958-963.

Egreja, A.M., Kahn, S., Barceleiro, M., Bittencourt, S. (2012). "Relationship between the width of the zone of keratinized tissue and thickness of gingival tissue in the anterior maxilla." The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry **32**(5): 573-579.

Evans, C.D., Chen, S.T. (2008). "Esthetic outcomes of immediate implant placements." Clinical Oral Implants Research **19**(1): 73-80.

Fasske, E., Morgenroth, K. (1958). "Comparative stomatoscopic and histochemical studies of the marginal gingiva in man." Parodontologie **12**:151-160

- Fischer, K.R., Grill, E., Jockel-Schneider, Y., Bechtold, M., Schlagenhaut, U., Fickl, S. (2013). "On the relationship between gingival biotypes and supracrestal gingival height, crown form and papilla height." Clinical Oral Implants Research.
- Fukukita, H., Yano, T., Fukumoto, A., Sawada, K., Fujimasa, T., Sunada, I. (1985). "Development and application of an ultrasonic imaging system for dental diagnosis." Journal of Clinical Ultrasound : JCU **13**(8): 597-600.
- Furhauser, R., Florescu, D., Benesch, T., Haas, R., Mailath, G., Watzek, G. (2005). "Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score." Clinical Oral Implants Research **16**(6): 639-644.
- Garant, P.R. (2003). Oral Cells and Tissues. Quintessenz, Chicago
- Goaslind, G.D., Robertson, P.B., Mahan, C.J., Morrison, W.W., Olson, J.V. (1977). "Thickness of facial gingiva." Journal of Periodontology **48**(12): 768-771.
- Gobbato, L., Tsukiyama, T., Levi, P.A., Jr., Griffin, T.J., Weisgold, A.S. (2012). "Analysis of the shapes of maxillary central incisors in a Caucasian population." The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry **32**(1): 69-78.
- Gottsegen, R. (1954). "Frenum position and vestibule depth in relation to gingival health." Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontology **7**(10): 1069-1078.
- Grosse, S. (1976). "In-vivo-Messungen der Zahnfleischdicke [In vivo measurements of gingival thickness]." Stomatologie der DDR **26**(11): 734-738.
- Grossi, S.G., Genco, R.J., Machtei, E.E., Ho, A.W., Koch, G., Dunford, R., Zambon, J.J., Hausmann, E. (1995). "Assessment of risk for periodontal disease. II. Risk indicators for alveolar bone loss." Journal of Periodontology **66**(1): 23-29.
- Hämmerle, C.H., Chen, S.T., Wilson, T.G., Jr. (2004). "Consensus statements and recommended clinical procedures regarding the placement of implants in extraction sockets." The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants **19 Suppl**: 26-28.
- Hangorsky, U., Bissada, N.F. (1980). "Clinical assessment of free gingival graft effectiveness on the maintenance of periodontal health." Journal of Periodontology **51**(5): 274-278.
- Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T. (2009). Einführung in die Zahnerhaltung. Köln, Deutscher Zahnärzte-Verlag
- Hetzel, G., Rott, H.-D., Klinge, B. (2000). Grundlagen der Sonographie. Viszeralchirurgische Sonographie: Lehrbuch und Atlas. Weiser. Berlin Heidelberg, Springer Verlag: 1-43.
- Hua, Y., Nackaerts, O., Duyck, J., Maes, F., Jacobs, R. (2009). "Bone quality assessment based on cone beam computed tomography imaging." Clinical Oral Implants Research **20**(8): 767-771.

- Huang, L.H., Neiva, R.E., Wang, H.L. (2005). "Factors affecting the outcomes of coronally advanced flap root coverage procedure." Journal of Periodontology **76**(10): 1729-1734.
- Januario, A.L., Barriviera, M., Duarte, W.R. (2008). "Soft tissue cone-beam computed tomography: a novel method for the measurement of gingival tissue and the dimensions of the dentogingival unit." Journal of Esthetic and Restorative Dentistry **20**(6): 366-373.
- Jones, A.R., Martin, W. (2014). "Comparing pink and white esthetic scores to layperson perception in the single-tooth implant patient." The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants **29**(6): 1348-1353.
- Jung, R.E., Sailer, I., Hämmerle, C.H., Attin, T., Schmidlin, P. (2007). "In vitro color changes of soft tissues caused by restorative materials." The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry **27**(3): 251-257.
- Jung, U.W., Um, Y.J., Choi, S.H. (2008). "Histologic observation of soft tissue acquired from maxillary tuberosity area for root coverage." Journal of Periodontology **79**(5): 934-940.
- Kao, R.T., Fagan, M.C., Conte, G.J. (2008). "Thick vs. thin gingival biotypes: a key determinant in treatment planning for dental implants." Journal of the California Dental Association **36**(3): 193-198.
- Kiefer, H., Lambrecht, J.T., Roth, J. (2004). "Strahlenexposition von analogen und digitalen Zahnstaten und Panoramaschichtaufnahmen." Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin **114**(7): 687-693.
- Kim, S.-J., Lee, J.-K., Um, H.-S., Chang, B.-S. (2009). "The effect of non-surgical treatment in gingival enlargement." The Journal of the Korean Academy of Periodontology **39**(1): 103-108.
- Kisch, J., Badersten, A., Egelberg, J. (1986). "Longitudinal observation of "unattached," mobile gingival areas." Journal of Clinical Periodontology **13**(2): 131-134.
- Kleber, B.M. (1991). "Die lokalisierte parodontale Rezession--nur eine Folge des chronischen Putztraumas?" Parodontologie **2**(3): 235-243.
- Kois, J.C. (2004). "Predictable single-tooth peri-implant esthetics: five diagnostic keys." Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995) **25**(11): 895-896.
- Kolte, R., Kolte, A., Mahajan, A. (2014). "Assessment of gingival thickness with regards to age, gender and arch location." Journal of Indian Society of Periodontology **18**(4): 478-481.
- Kullaa-Mikkonen, A., Sorvari, T.E. (1985). "A scanning electron microscopic study of the dorsal surface of the human tongue." Acta Anatomica (Basel) **123**(2): 114-120.
- Kydd, W.L., Daly, C.H., Wheeler, J.B., 3rd (1971). "The thickness measurement of masticatory mucosa in vivo." International Dental Journal **21**(4): 430-441.

Lang, N.P., Joss, A., Orsanic, T., Gusberti, F.A., Siegrist, B.E. (1986). "Bleeding on probing. A predictor for the progression of periodontal disease?" Journal of Clinical Periodontology **13**(6): 590-596.

Lang, N.P., Loe, H. (1972). "The relationship between the width of keratinized gingiva and gingival health." Journal of Periodontology **43**(10): 623-627.

Lieback-Zimmermann, E. (1993). Computergestützte sonographische Gewebedifferenzierung des Myokards: Habilitationsschrift, zur Erlangung der Venia legendi an dem Universitätsklinikum Rudolf-Virchow der Freien Universität Berlin Berlin 1992. Darmstadt, Steinkopff

Linkevicius, T., Apse, P., Grybauskas, S., Puisys, A. (2009). "The influence of soft tissue thickness on crestal bone changes around implants: a 1-year prospective controlled clinical trial." The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants **24**(4): 712-719.

Ludlow, J.B., Davies-Ludlow, L.E., Brooks, S.L., Howerton, W.B. (2006). "Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT." Dento Maxillo Facial Radiology **35**(4): 219-226.

Ludlow, J.B., Laster, W.S., See, M., Bailey, L.J., Hershey, H.G. (2007). "Accuracy of measurements of mandibular anatomy in cone beam computed tomography images." Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics **103**(4): 534-542.

Lüllmann-Rauch, R. (2009). Taschenlehrbuch Histologie. Stuttgart, Thieme Verlag.

Malhotra, R., Grover, V., Bhardwaj, A., Mohindra, K. (2014). "Analysis of the gingival biotype based on the measurement of the dentopapillary complex." Journal of Indian Society of Periodontology **18**(1): 43-47.

Mazeland, G.R. (1980). "Longitudinal aspects of gingival width." Journal of Periodontal Research **15**(4): 429-433.

McCoy, B.J., Galdun, J., Cohen, I.K. (1982). "Effects of density and cellular aging on collagen synthesis and growth kinetics in keloid and normal skin fibroblasts." In vitro **18**(1): 79-86.

Miyasato, M., Crigger, M., Egelberg, J. (1977). "Gingival condition in areas of minimal and appreciable width of keratinized gingiva." Journal of Clinical Periodontology **4**(3): 200-209.

Mormann, W., Schaer, F., Firestone, A.R. (1981). "The relationship between success of free gingival grafts and transplant thickness. Revascularization and shrinkage--a one year clinical study." Journal of Periodontology **52**(2): 74-80.

Müller, H.P., Eger, T. (1997). "Gingival phenotypes in young male adults." Journal of Clinical Periodontology **24**(1): 65-71.

Müller, H.P., Heinecke, A., Schaller, N., Eger, T. (2000a). "Masticatory mucosa in subjects with different periodontal phenotypes." Journal of Clinical Periodontology **27**(9): 621-626.

- Müller, H.P., Schaller, N., Eger, T., Heinecke, A. (2000b). "Thickness of masticatory mucosa." Journal of Clinical Periodontology **27**(6): 431-436.
- Muraoka, Y., Sueda, T., Kinoshita, S. (1982). "[Examination of periodontal tissue with an ultrasonic apparatus. Measurements of the thickness of gingiva, alveolar mucosa and alveolar bone]." Nihon Shishubyo Gakkai Kaishi **24**(4): 601-606.
- Norer, B., Jank, S., Emshoff, R. (2007). Sonographie im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich. Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie. Horsch. München, Urban&Fischer: 22-35.
- Nozawa, T., Tsurumaki, S., Yamaguchi, S., Enomoto, H., Ito, K. (2009). "The concept of the interdental gingival midpoint line in cervical line management." The European Journal of Esthetic Dentistry : Official Journal of the European Academy of Esthetic Dentistry **4**(1): 46-68.
- Ochsenbein, C., Ross, S.E. (1973). A Concept of Osseous Surgery and Its Clinical Application. A Periodontal Point of View. Ward. U.S.A., C.C. Thomas: 276-322.
- Olsson, M., Lindhe, J. (1991). "Periodontal characteristics in individuals with varying form of the upper central incisors." Journal of Clinical Periodontology **18**(1): 78-82.
- Olsson, M., Lindhe, J., Marinello, C.P. (1993). "On the relationship between crown form and clinical features of the gingiva in adolescents." Journal of Clinical Periodontology **20**(8): 570-577.
- Ong, C.L. (2015). "The current status of three-dimensional ultrasonography in gynaecology." Ultrasonography. Epub: <http://dx.doi.org/10.14366/usg.15043> (zuletzt geprüft: 16.11.15)
- Pasler, F.A. (2008). Zahnärztliche Radiologie. Stuttgart, Thieme
- Pontoriero, R., Carnevale, G. (2001). "Surgical crown lengthening: a 12-month clinical wound healing study." Journal of Periodontology **72**(7): 841-848.
- Radlanski, R.J. (2011). Mundschleimhaut. Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie. Berlin, Quintessenz Verlags-GmbH: 453-509.
- Reinert, S. (2000). "[Ultrasound in oromaxillofacial surgery]." Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie : MKG 4 Suppl 1: S375-383.
- Rossell, J., Puigdollers, A., Girabent-Farres, M. (2015). "A simple method for measuring thickness of gingiva and labial bone of mandibular incisors." Quintessence International **46**(3): 265-271.
- Ruben, M.P. (1979). "A biologic rationale for gingival reconstruction by grafting procedures." Quintessence International, Dental Digest **10**(11): 47-55.
- Sailer, I., Zembic, A., Jung, R.E., Hämmerle, C.H., Mattioli, A. (2007). "Single-tooth implant reconstructions: esthetic factors influencing the decision between titanium and zirconia abutments in anterior regions." The European Journal of Esthetic Dentistry : Official Journal of the European Academy of Esthetic Dentistry **2**(3): 296-310.

Sato, N. (2008). Parodontal-restaurative Langzeittherapie: Klinischer Atlas. Berlin, Quintessenz

Schoo, W.H., van der Velden, U. (1985). "Marginal soft tissue recessions with and without attached gingiva. A five year longitudinal study." Journal of Periodontal Research **20**(2): 209-211.

Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U. (2009). PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie: LernAtlas Anatomie. Stuttgart, Thieme

Seibert, J., Lindhe, J. (1989). Esthetics and Periodontal Therapy. Textbook of Clinical Periodontology. Lindhe. Copenhagen, Munksgaard: 477-514.

Slak, B., Ambroziak, A., Strumban, E., Maev, R.G. (2011). "Enamel thickness measurement with a high frequency ultrasonic transducer-based hand-held probe for potential application in the dental veneer placing procedure." Acta of Bioengineering and Biomechanics / Wroclaw University of Technology **13**(1): 65-70.

Slak, B., Daabous, A., Bednarz, W., Strumban, E., Maev, R.G. (2014). "Assessment of gingival thickness using an ultrasonic dental system prototype: A comparison to traditional methods." Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger.

Stein, J., Martin, C. (2015). Physikalisch-technische Grundlagen. Kursbuch Ultraschall: Nach den Richtlinien der DEGUM und der KBV. Schmidt. Stuttgart, Thieme: 29-35

Stein, J.M., Lintel-Höping, N., Hammächer, C., Kasaj, A., Tamm, M., Hanisch, O. (2013). "The gingival biotype: measurement of soft and hard tissue dimensions - a radiographic morphometric study." Journal of Clinical Periodontology **40**(12): 1132-1139.

Stellini, E., Comuzzi, L., Mazzocco, F., Parente, N., Gobbato, L. (2013). "Relationships between different tooth shapes and patient's periodontal phenotype." Journal of Periodontal Research **48**(5): 657-662.

Studer, S.P., Allen, E.P., Rees, T.C., Kouba, A. (1997). "The thickness of masticatory mucosa in the human hard palate and tuberosity as potential donor sites for ridge augmentation procedures." Journal of Periodontology **68**(2): 145-151.

Tanner, J.M., Whitehouse, R.H., Marubini, E., Resele, L.F. (1976). "The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden growth study." Annals of Human Biology **3**(2): 109-126.

Tomlin, H.R., Wilson, H.J. (1968). "The measurement of thickness and hardness of oral soft tissues." British Dental Journal **124**(1): 22-27.

Tsiolis, F.I., Needleman, I.G., Griffiths, G.S. (2003). "Periodontal ultrasonography." Journal of Clinical Periodontology **30**(10): 849-854.

Uchida, H., Kobayashi, K., Nagao, M. (1989). "Measurement in vivo of masticatory mucosal thickness with 20 MHz B-mode ultrasonic diagnostic equipment." Journal of Dental Research **68**(2): 95-100.

Vaidya, S., Ho, Y.L., Hao, J., Lang, N.P., Mattheos, N. (2015). "Evaluation of the influence exerted by different dental specialty backgrounds and measuring instrument reproducibility on esthetic aspects of maxillary implant-supported single crown." Clinical Oral Implants Research **26**(3): 250-256.

Vandana, K.L., Savitha, B. (2005). "Thickness of gingiva in association with age, gender and dental arch location." Journal of Clinical Periodontology **32**(7): 828-830.

Weisgold, A.S. (1977). "Contours of the full crown restoration." The Alpha Omegan **70**(3): 77-89.

Wittneben, J.G.C., Weber, H.P., Wismeijer, D., Chen, S., Buser, D. (2013). ITI Treatment Guide Band 6: Ausgedehnte Lücken in der ästhetischen Zone, Quintessenz Verlags-GmbH

Zimbran, A., Dudea, S., Dudea, D. (2013). "Evaluation of periodontal tissues using 40MHz ultrasonography. preliminary report." Medical Ultrasonography **15**(1): 6-9.

11 Bildnachweis

1	Topographie der Mundhöhle	Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Illustrationen: Voll, M., Wesker, K. (2009). Prometheus Lernatlas der Anatomie; Kopf, Hals und Neuroanatomie (2. überarb. u. erw. Aufl.). Stuttgart, Thieme. S.168
2	Faserapparat der Gingiva	Nach: http://www.dent-wiki.com/img/xldent-33.jpg.pagespeed.ic.7cKUyi4ReX.jpg Bild bearbeitet: Bildunterschriften entfernt Zuletzt geprüft: 16.11.2015
3	Sonographische Darstellungsmodi	Nach: http://www.medinfo-wiki.de/images/d/d4/4-bildverarbeitung.jpg Bild bearbeitet: M-Mode Darstellung entfernt Zuletzt geprüft: 16.11.2015
4	Bildentstehung Sonographie	http://www.weltderphysik.de/uploads/tx_wdpmedia/Illu_007_01.pdf Quelle: britta von Heintze/Ben Mirwald/Welt der Physik; Lizenz: CC by-nc-nd Zuletzt geprüft: 16.11.2015
5	Sondentransluzenz	Nach: De Rouck, T., Eghbali, R., Collys, K., De Bruyn, H., Cosyn, J. (2009). "The gingival biotype revisited: transparency of the periodontal probe through the gingival margin as a method to discriminate thin from thick gingiva." <u>Journal of clinical periodontology</u> 36 (5): 428-433. Bild bearbeitet: Legende entfernt
6	Radiologische Messmethode	Nach: Stein, J.M., Lintel-Höping, N., Hammächer, C., Kasaj, A., Tamm, M., Hanisch, O. (2013). "The gingival biotype: measurement of soft and hard tissue dimensions - a radiographic morphometric study." <u>Journal of clinical periodontology</u> 40 (12): 1132-1139. Bild bearbeitet: Legende entfernt
7	DVT-Messmethode	Nach: Januario, A.L., Barriviera, M., Duarte, W.R. (2008). "Soft tissue cone-beam computed tomography: a novel method for the measurement of gingival tissue and the dimensions of the dentogingival unit." <u>Journal of esthetic and restorative dentistry</u> 20 (6): 366-373.

		Bild bearbeitet: Klinische Ansicht, DVT-Darstellung ohne Wangenretraktor und Legende entfernt
8	Transgingivales Sondieren	Nach: Egreja, A.M., Kahn, S., Barceleiro, M., Bittencourt, S. (2012). "Relationship between the width of the zone of keratinized tissue and thickness of gingival tissue in the anterior maxilla." <u>The International journal of periodontics & restorative dentistry</u> 32 (5): 573-579. Bild bearbeitet: Legende entfernt
9	Gingivadickenmessung mit einer Messuhr	Nach: Grosse, S. (1976). "In-vivo-Messungen der Zahnfleischdicke [In vivo measurements of gingival thickness]." <u>Stomatologie der DDR</u> 26 (11): 734-738. Bild bearbeitet: Legende entfernt
10	MyLab Desk Workstation™	Eigene Aufnahme
11	Esaote® MyLabOne™	Nach: http://www.esaote.com/uploads/RTEmagicC_mylab-one-vet-overview-01.png Bild bearbeitet: Beschriftung entfernt Zuletzt geprüft: 16.11.2015
12	Sondenposition Vorversuch 1	Eigene Aufnahme
13	Sonogramm Vorversuch 1	Eigene Aufnahme
14	Direkte Messung Vorversuch 1	Eigene Aufnahme
15	Messpunkte Vorversuch 2	Eigene Aufnahme
16	Tastermessung Vorversuch 2	Eigene Aufnahme
17	Sonogramm Schweinekiefer	Eigene Aufnahme
18	Skizze Lokalisation Messungen	Eigene Skizze
19	Positionierung der Sonde	Eigene Aufnahme
20	Sonogramm marginales Parodont	Eigene Aufnahme
21	Skizze sonographische Messpunkte	Eigene Skizze
22	QHI-Index	Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T. (2009). Einführung in die Zahnerhaltung (5. Aufl.). Deutscher Zahnärzterverlag. S. 472
23	Messpunkt PH, BdG, ZKB, ZKL	Eigene Aufnahme
24	Messung der Breite der Gingiva	Eigene Aufnahmen (dargestellter Patient ist kein Studienteilnehmer)
25	Streudiagramm øGDB/øGDL	Erstellt (mit SPSS) anhand der Ergebnisse dieser Arbeit
26	Skizze Vergleich GDL/GDB	Eigene Aufnahme bearbeitet
27	Streudiagramm øGDL/øBdG	Erstellt (mit SPSS) anhand der Ergebnisse dieser Arbeit

28	Boxplotdiagramm ZF; GDB	Erstellt (mit SPSS) anhand der Ergebnisse dieser Arbeit
29	Boxplotdiagramm ZF; GDL	Erstellt (mit SPSS) anhand der Ergebnisse dieser Arbeit
30	Boxplotdiagramm T-Wert; GDB	Erstellt (mit SPSS) anhand der Ergebnisse dieser Arbeit
31	Boxplotdiagramm T-Wert; GDL	Erstellt (mit SPSS) anhand der Ergebnisse dieser Arbeit
32	Patienten gingivale Breite	Eigene Aufnahme
33	Patienten Ausformung Gingiva	Eigene Aufnahme
34	Patienten Zahnform	Eigene Aufnahme

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert für die Ermöglichung dieser Arbeit durch die Bereitstellung des Ultraschallgeräts, sowie der Räumlichkeiten und nötigen Materialien bedanken. Ebenso möchte ich mich für seine fachliche und konzeptionelle Unterstützung bedanken.

Bei Herrn Dr. Dr. Johannes Meier möchte ich mich für die Unterstützung sowohl während der Konzeption der Arbeit als auch bei ihrer Ausführung herzlichst bedanken.

Herrn Prof. Dr. Wolfgang Buchalla danke ich für die Zweitkorrektur.

Ein herzlicher Dank gilt der Poliklinik für Kieferorthopädie für die freundliche Unterstützung. In diesem Sinne möchte ich besonders Herrn Dr. Helmut Hösl sowie den zahnmedizinischen Assistentinnen der Abteilung danken.

Mein Dank gilt zudem allen Patienten, Mitarbeitern und Studenten der Universitätsklinik Regensburg, die sich zur Untersuchung bereitgestellt haben.

Ein besonderer Dank gilt meinen Freunden und Verwandten, die mich zu jeder Zeit unterstützt und motiviert haben, meiner Mutter und Jasmin für das immer offene Ohr und meinem Vater für die Eröffnung der Möglichkeiten.

Der größte Dank gilt denen, die immer da waren und immer da sein werden. Lena und Jean-Marie, danke für Alles.

Lebenslauf

Name	Alice Lucas
Geburtsdatum	13. Januar 1989
Geburtsort	Mönchengladbach
Staatsangehörigkeit	deutsch
Eltern	Annette Lucas, Dipl. Ing. für Textil- und Bekleidungstechnik Reinhardt Lucas, Zahntechnikermeister
Geschwister	Jasmin Lucas, Human Resource Professional
Schulbildung	1995-1999 Grundschule Hockstein, Mönchengladbach 2008 Abitur am Gymnasium Rheindahlen, Mönchengladbach
Beruflicher Werdegang	August 2008 - Oktober 2009 Ausbildung zur Zahntechnikerin Oktober 2009 – Dezember 2014 Studium der Zahnheilkunde an der Universität Regensburg Seit Januar 2015 Assistenz Zahnärztin in freier Praxis in Erkelenz